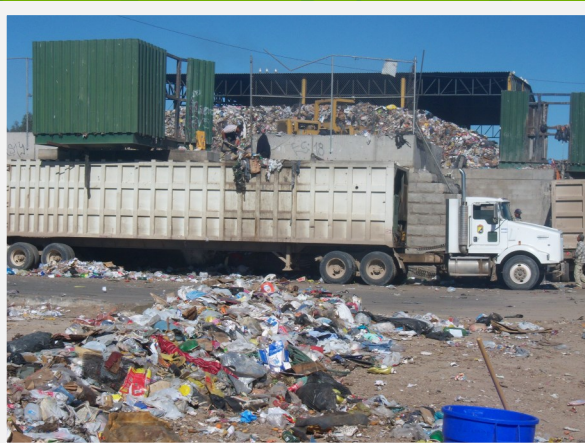


Los Residuos Sólidos *como fuente de materiales y energía*



Compiladores:

Dra. Sara Ojeda Benitez

Dr. Paul Adolfo Taboada González

Dra. Quetzalli Aguilar Virgen

Dra. Samantha E. Cruz Sotelo

Dra. Mydory Nakasima López

Título de la obra: Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos

Subtítulo: Los residuos sólidos como fuente de materiales y energía

Compiladores: Sara Ojeda Benítez, Paul Adolfo Taboada González, Quetzalli Aguilar Virgen, Samantha Eugenia Cruz Sotelo y Mydory Nakasima López.

Editorial: Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos A.C.
<http://www.somers-ac.org>

Los trabajos incluidos fueron arbitrados por pares académicos. Se privilegia con el aval de la Editorial.

Información Legal

ENCUENTRO DE EXPERTOS EN RESIDUOS SOLIDOS, año 9, No. 1, Octubre 2015-Octubre 2016, es una publicación anual editada por la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos, A.C., Priv. Molcajete No. 44. Hacienda de las Fuentes, Calimaya, Estado de México, Mexico, C.P. 52227, Tel. (722) 5097824, www.somers-ac.org. Editor responsable: Dra. María del Consuelo Mañón Salas. Reserva de Derechos al uso Exclusivo No. 04-2014-112714070200-203 **ISSN: 2395-8170**, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos, A.C., Dr. Paul Adolfo Taboada González, Calzada Universidad #14418, Parque Industrial Internacional Tijuana C.P. 22390. Fecha de última modificación, 23 de agosto de 2016.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos, A.C.

COMITÉ ORGANIZADOR

- Dra. Cristina Cortinas de Nava
- Dra. Izarely Rosillo Pantoja
- Dra. Sylvie Jeanne Turpin Marion
- Dra. Sara Ojeda Benítez
- Dra. Samantha Eugenia Cruz Sotelo
- Dra. Quetzalli Aguilar Virgen
- Dr. Paul Adolfo Taboada González
- Dra. Mydory Nakasima López
- Dra. Claudia Estela Saldaña Durán
- Dra. Alethia Vázquez Morillas
- Dra. Maribel Velasco Pérez
- Dra. Rosa María Espinosa Valdemar
- M. en C. Margarita Beltrán Villavicencio
- Dra. María del Consuelo Mañón Salas
- Dra. María del Consuelo Hernández Berriel
- Dr. Isaías de la Rosa Gómez
- Dr. Fabián Robles Martínez
- Dra. Ana Belem Piña Guzmán
- Dra. Liliana Márquez Benavides
- Dra. Gloria Inés González López

COMITÉ TÉCNICO CIENTÍFICO

COMITÉ NACIONAL

Dra. Sylvie Jeanne Turpin Marion	Universidad Autónoma Metropolitana
Dra. Rosa María Espinosa Valdemar	Universidad Autónoma Metropolitana
Dra. Alethia Vázquez Morillas	Universidad Autónoma Metropolitana
Dra. Maribel Velasco Pérez	Universidad Autónoma Metropolitana
M.C. Margarita Beltran Villavicencio	Universidad Autónoma Metropolitana
Dra. Sara Ojeda Benítez	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Samantha Eugenia Cruz Sotelo	Universidad Autónoma de Baja California
Dr. Paul Adolfo Taboada González	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Quetzalli Aguilar Virgen	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Mydory Oyuky Nakasima López	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Wendolyn Elizabeth Aguilar Salinas	Universidad Autónoma de Baja California
Dr. Jaime Alonso. Reyes López	Universidad Autónoma de Baja California
Dr. Néstor Santillán Soto	Universidad Autónoma de Baja California
Dr. Onofre Rafael Garcia Cueto	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. María. Socorro Romero Hernández	Universidad Autónoma de Baja California
Dr. Conrado García González	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Karla Isabel Velazquez Victorica	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Maria Elizabeth Ramirez Barreto	Universidad Autónoma de Baja California
M.C. Aída López Guerrero	Universidad Autónoma de Baja California
M.C. Mildrend Ivett Montoya Reyes	Universidad Autónoma de Baja California
M.I. Luz del Consuelo Olivares Fong	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. María del Consuelo Hernández Berriel	Instituto Tecnológico de Toluca
Dra. María del Consuelo Mañon Salas	Instituto Tecnológico de Toluca
Dr. Isaías de la Rosa Gómez	Instituto Tecnológico de Toluca
Dra. Claudia Estela Saldaña Durán	Universidad Autónoma de Nayarit
Dr. Otoniel Buenrostro Delgado	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Dra. Liliana Márquez Benavides	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
M.C. Evelia Santillán Ferreyra	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Dra. Gloria Ines González López	Universidad Veracruzana
Dr. Fabian Robles Martínez	Instituto Politécnico Nacional
Dra. Ana Belem Piña Guzmán	Instituto Politécnico Nacional
Dr. Gerardo Bernache Pérez	Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social
Dr. Ricardo Herbé Cruz Estrada	Centro de Investigación Científica de Yucatán
Dr. Pedro del Aguila Juárez	Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. Nancy Judith Serrano García	Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. Guillermina Gómez Beltrán	Universidad Tecnológica del Valle de Toluca
Dra. María Eugenia González Ávila	El Colegio de la Frontera Norte
Dr. Víctor Alcántara Concepción	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
Dr. Constantino Gutiérrez Palacios	Universidad Nacional Autónoma de México

COMITÉ INTERNACIONAL

Dr. Antonio Gallardo Izquierdo	Universidad Jaume I
Dr. Francisco José Colomer Mendoza	Universidad Jaume I
Dra. María Dolores Bovea Edo	Universidad Jaume I
Dra. Maria del Mar Carlos Alberola	Universidad Jaume I
Dra Amaya Lobo García de Cortázar	Universidad de Cantabria
Dr. Miguel Cuartas Hernández	Universidad de Cantabria
Dra. Ana López Martínez	Universidad de Cantabria
Dra. Irma Mercante	Universidad Nacional de Cuyo
M.I. Susana Llamas	Universidad Nacional de Cuyo
M.C. Roberto Andrés. Lima Morra	Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción

PRESENTACIÓN

La Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos (SOMERS), se ha dado a la tarea de promover el desarrollo de la ciencia y tecnología aplicada a la gestión integral de los residuos sólidos, uno de los mecanismos que ha implementado es la organización del evento Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos (ENERS), los objetivos del encuentro han sido reunir a los especialistas en residuos sólidos de México para analizar los problemas ambientales y técnicos asociados a la generación, manejo y disposición final de los residuos sólidos, así como discutir los adelantos y evolución en la temática, además de fomentar la propuesta de soluciones multidisciplinarias para la gestión de los residuos sólidos. Es un espacio en el que los participantes comparten sus experiencias, presentan avances y resultados de investigación, convirtiéndose en un foro de formación para los estudiantes del área que tiene la oportunidad de interactuar con los especialistas en el tema.

En este documento presentamos, los trabajos que se exhibirán en el 8º ENERS, organizado en nueve áreas bajo el lema Los residuos sólidos como fuente de materiales y energía, con ello buscamos promover la valorización de los recursos que encontramos en la basura, además de contribuir a la conservación de nuestro entorno, recuperar materia prima, promover la cultura de la conservación en los distintos ámbitos de la sociedad, es una oportunidad para generar empleos, ingresos económicos e incluso energía eléctrica.

La presente memoria contiene 75 trabajos que abordan nueve temáticas relacionadas con los residuos sólidos y representan el trabajo de 25 instituciones a nivel nacional que están trabajando la problemática y presentando alternativas para incidir en la solución de problemas asociados a la gestión de residuos sólidos.

En este compendio de trabajos se presentan los resultados de los proyectos, experiencias y alternativas para la gestión de los residuos, la cual incluye desde la generación de residuos, el diseño de su recolección, el uso de tecnologías de tratamiento y valorización, así como el diseño de sitios de disposición y diseño de programas de integración social de los recicladores informales y de programas de concientización.

Dra. Sara Ojeda Benítez

PRESIDENTA DE SOMERS

CONTENIDO

SECCION 1 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS

Caracterización de los residuos hospitalarios no-peligrosos del sector salud de la ciudad de Morelia, Michoacán.....	1
Estimación de la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en la zona metropolitana del valle de México	7
Caracterización de residuos sólidos en playa Audiencia, Manzanillo, Colima: diagnóstico ante el proceso de certificación.....	14
Caracterización física de residuos sólidos de la colonia Comerciantes de la ciudad de Tepic, Nayarit.....	22
Separación y caracterización de micro-plásticos en playas mexicanas.....	27
Estudio de generación y composición de residuos sólidos urbanos en una institución de educación superior.....	34
Arribo de residuos sólidos en el santuario de la tortuga marina X´Cacel – X´Cacelito.....	42
Residuos peligrosos domésticos de viviendas de interés social en la ciudad de Morelia.....	49
SECCION 2 GESTIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL	54

Uso de indicadores para mejorar la gestión de residuos municipales.	55
Selección de un sitio para la instalación de un centro de procesamiento de residuos sólidos urbanos en Hidalgo.....	67
Análisis multicriterio espacial de zonas idóneas para la construcción de rellenos sanitarios en Jalisco bajo normativa oficial mexicana.....	79
Manejo de residuos sólidos urbanos de la Universidad Tecnológica de Puebla	89
Gestión integral de los residuos sólidos urbanos: caso de estudio de la colonia comerciantes en la ciudad de Tepic, Nayarit.....	100
Avances y retos en la recertificación del Sistema de Gestión Ambiental en el IT Mexicali; caso residuos sólidos urbanos.....	108
Situación actual del manejo de residuos de la construcción, demolición y su impacto socio-ambiental en una ciudad fronteriza del norte de México.....	116
Estudio de residuos de concreto como material de cobertura en un relleno sanitario.....	126
Manejo, tratamiento y/o disposición final de los medicamentos caducos del sector veterinario en el valle de México.....	138

SECCION 3 TRATAMIENTO / VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

Aprovechamiento de los residuos maderables de la actividad forestal, estudio de caso: Maderas de la Zona Maya de Quintana Roo S.A. DE C.V.	147
Aplicación de lodos residuales de origen municipal en suelos erosionados del valle de Toluca.....	157
Obtención de bioetanol a partir de residuos de madera.....	163

Potencial bioquímico de metanización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos de la Ciudad de México usando inóculos provenientes de la planta de composta de bordo poniente.....	168
Uso de glicólisis para el reciclado químico de polietilentereftalato	179
Factibilidad de recuperación de plata, cobre y oro por biolixiviación en residuos electrónicos	185
Purificación de filtros de cigarro para su reutilización.....	192
Valorización de cáscaras de naranja y residuos de café mediante la extracción de materias primas y materiales adsorbentes.....	195
Estudio de factibilidad para elaborar composta en un municipio de Veracruz	203
Vetiver planta fitorremediación de plomo, cobre y arsénico provenientes de lixiviados de residuos sólidos urbanos.....	208
Potencial de recuperación de materiales en pilas descartadas	215
Evaluación de la mineralización de dos plásticos mediante la norma internacional ASTM D5338	221
Desaprovechamiento de residuos reciclables del municipio de Zinacantepec	226
Efecto de la extracción orgánica en la determinación de holocelulosa en rastrojos agrícolas	234
Operación de siete plantas de composta en la Ciudad de México.....	244
Tratamiento biológico de lodos fisicoquímicos	253
Valorización de componentes en una empresa manufacturera de fragancias.....	262
Reducción de residuos de materia prima en una empresa manufacturera	267
Los residuos orgánicos provenientes de actividades culinarias, su reciclaje y utilidad: Un enfoque práctico	274
SECCION 4 IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL	281
Contaminación por residuos sólidos en la bahía de Chetumal, Quintana Roo.....	282
Determinación de las emisiones de CH ₄ y CO ₂ en sitios de confinamiento de residuos sólidos urbanos: comparación con modelos teóricos.....	288
Emisiones de dióxido de Carbono de la disposición final de medicamentos caducados	297
Distribución espacial de la contaminación por metales pesados en vialidades de Toluca, Edo de México.....	304
Toxicidad de películas plásticas en <i>Daphnia</i> sp.....	310
SECCION 5 SOCIEDAD Y GOBIERNO	317
Estudio de los conocimientos, actitudes y prácticas que la población tiene respecto al manejo integral de los residuos sólidos urbanos en Tepic, Nayarit.	318
Análisis de la participación social en cuestiones de Gobernanza Ambiental en materia de residuos sólidos urbanos en los municipios de Zapopan y San Pedro Tlaquepaque	326
Situación y prospectiva de los Residuos Sólidos Urbanos en Texcoco, Estado de México.....	336
Perfiles de consumo ambiental para la disminución de residuos sólidos	347
Validación de una escala para evaluar los motivos para la separación de residuos sólidos en el hogar.....	353

Participación ciudadana corresponsable en el manejo de los residuos sólidos municipales en Morelos.....	360
SECCION 6 TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	370
Estudio de variabilidad de la producción de biogás utilizando diseño de experimentos.....	371
Diseño de un triturador de residuos orgánicos domésticos.	379
Evaluación de la calidad del suelo bajo cultivo de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i>) adicionado con mezclas de fertilizante más vermicomposta	390
Tecnologías alternativas para el manejo apropiado de residuos sólidos orgánicos de pequeña y mediana capacidad	400
Desarrollo de un sistema de adquisición de datos para una pila de composta	410
Arranque de dos digestores anaeróbicos CSTR a escala laboratorio	418
Determinar el índice de germinación en semillas de acelga (<i>Beta vulgaris var Cicla</i>), en diferentes tiempos y tratamientos de lombricomposta	426
Diseño de tecnología dirigida al reciclaje de residuos sólidos urbanos.....	429
Efecto de la escala en la percolación de líquidos en residuos sólidos urbanos	439
Análisis de lixiviados generados en reactores simulando un relleno sanitario.....	447
SECCION 7 EDUCACIÓN AMBIENTAL	454
Educación ambiental: transformando los residuos sólidos.....	455
Plásticos desechados en una comunidad: análisis para proponer estrategias para mitigar el deterioro del medio ambiente	462
Educación ambiental, para la concientización del manejo de los residuos sólidos y relleno sanitario	472
Educación ambiental, tarea de todos; el caso del programa día por el Tec	479
Recolección, redistribución y revalorización de los objetos en desuso.....	486
Estudio sobre percepción ambiental de los residuos sólidos en estudiantes de 5° grado de primaria.	492
Desarrollo de competencias sustentables en universitarios a través de un programa de servicio social.....	499
Experiencias en la separación de residuos para reciclaje o confinamiento: caso de estudio en sector educativo	507
Educación Ambiental: sensibilizar a la comunidad estudiantil	517
Creencias ambientales sobre residuos sólidos en estudiantes de educación básica.....	521
Actitud ambiental de aspirantes a ingresar a una Institución de Educación Superior.....	527
Iniciativas de comunicación ambiental en el Estado de Jalisco para mitigar los daños a la salud por la transición a la televisión digital en México.....	534

SECCION 1

CARACTERIZACIÓN

DE RESIDUOS

Caracterización de los residuos hospitalarios no-peligrosos del sector salud de la ciudad de Morelia, Michoacán

¹Marina Velarde Sánchez, ²Marco Tulio Hernández de Anda, ^{3*}Liliana Márquez Benavides

^{1, 2, 3} Laboratorio de Residuos Sólidos y Uso Eficiente de Energía. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. San Juanito Itzicuaró S/N, Colonia San Juanito Itzicuaró, Morelia Mich. C.P. 58240. México. E-mail: lmarquez@umich.mx *Autor de Correspondencia.

Resumen

El sector salud al cubrir las principales necesidades de la población contribuye a agravar los problemas de salud ambiental mediante los recursos que consume, edificios que construye y residuos que genera. El objetivo principal de este trabajo es presentar la caracterización de residuos hospitalarios no-peligrosos (RHNP), generados en el sector salud de Morelia Michoacán. Fueron seleccionados 7 hospitales del sector público y privado, de los cuales se extrajo una muestra representativa del total de residuos generados diariamente. Los residuos se clasificaron en recuperables, biodegradables y peligrosos, de los cuales se encontraron un 77.5% de RHNP-recuperables, 19% RHNP-biodegradables y un 3.5% de residuos hospitalarios peligrosos (RHP), los cuales no deberían mezclarse en la corriente de RHNP, pues representan un riesgo al medio ambiente y la salud pública.

Palabras Clave: sector salud, salud ambiental, caracterización de residuos.

1. Introducción

El manejo de los residuos hospitalarios (RH) en México sigue siendo una problemática ambiental al día de hoy [1], la percepción que se tiene del trabajo diario de un hospital es fundamentalmente la atención al público, sin embargo esta industria ejerce efectos significativos sobre la salud ambiental a través de los recursos naturales que utiliza y los residuos que genera.

Los RH se definen como:

... “aquellos materiales generados por los centros de atención a la salud tales como; hospitales, clínicas, consultorios médico, dental, bancos de sangre, clínicas y hospitales veterinarios, así como laboratorios y centros de investigación médica [2],

De acuerdo con la legislación actual mexicana los residuos hospitalarios pueden entrar en dos grandes categorías distintas. La primera se enfoca en los residuos hospitalarios peligrosos (RHP), regulados por la NOM-087-ECOL-SSA1-2002, y solo regula a los de carácter biológico-infeccioso (RPBI). Por otra parte, la segunda categoría está enfocada en los residuos no peligrosos (RHNP), que se encuentran incluidos en el grupo de los residuos de manejo especial (RME), bajo el artículo 19 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) [3], se definen como:

Artículo 19.- Los residuos de manejo especial se clasifican en: “SECCIÓN II. “Residuos de servicios de salud, generados por los establecimientos que realicen actividades médico-asistenciales a las poblaciones humanas o animales, centros de investigación, con excepción de los biológico-infecciosos” [4],

1.1 Manejo de Residuos Hospitalarios no Peligrosos

El manejo de los RHNP es una condición de bioseguridad indispensable para los establecimientos de salud, a fin de brindar las condiciones adecuadas para el funcionamiento del nosocomio, la protección de pacientes, trabajadores y visitantes [2]. Esta actividad contempla los procesos de generación, segregación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final, sin causar impactos negativos a la salud pública

y ambiental y, de ser posible con un costo reducido [5]. La etapa del manejo interno se escribe a continuación:

Manejo Interno de Residuos Hospitalarios:

Dentro de esta etapa todos los desechos de materiales generados que involucren la atención médica del individuo dependen de la decisión (correcta o no) para la separación de los RH en el sitio de generación [6]. Pero para esto es indispensable contar con una clasificación ordenada de RH y con una capacitación continua.

Una vez segregados, los residuo pasan a su almacenamiento primario, que se refiere a la disposición de los RH en recipientes apropiados, que garanticen una adecuada identificación y seguridad durante el transporte para evitar exposiciones de riesgo, para posterior mente ser llevados al sitio de almacenamiento temporal (dentro de la institución de salud).Este lugar debe contar con las características de espacio suficiente, instalaciones de luz, ventilación y contenedores apropiados para su debido aislamiento esperando la posterior recolección de los residuos para finalmente dar tratamiento y disposición final a estos residuos fuera de la institución de salud [7].

Generación de Residuos Hospitalarios no Peligrosos

La Organización Mundial de la Salud (OMS), calcula que alrededor del 85% de los RH, son considerados no peligrosos, similares a los domésticos y el 15% restante son residuos peligrosos de carácter toxico, infeccioso o radiactivo [8]. La mayoría de los reportes existentes muestran la una tasa de generación de RH que oscila entre 0.5 y 5.3 kg de RH utilizando el indicador RH/cama/día. (Tabla 1).

Tabla 1. Tasas de generación de Residuos Hospitalarios

País o Dependencia	Generación de RHNP kg/cama/día			Referencia
	RH	RHNP	RHP	
OMS			0.5	(31)
Lituania	1.2	0.6	0.6	(19)
Kazajistán	5.3	5.0	0.3	(19)
Venezuela	2.8	2.1	0.6	(34)
Colombia	0.8	0.5	0.3	(24)
Colombia	3.1			(24)
Brasil	3.3			(24)
India	2.0			(24)
Turquía	2.0			(24)
Vietnam	1.4			(24)
Filipinas	0.5			(24)
Mongolia	3.4			(9)
China	0.7			(37)
Perú	3.8			(27)
	Generación de RH kg/día			
	RH	RG	RHP	
Brasil	25.8	19.4	6.4	(28)

Sin embargo la gestión integral a nivel internacional se enfoca en mayor medida a los RHP, presentando diversas clasificaciones y diferentes estrategias de manejo de acuerdo a cada país, quedando en segundo plano los (RHNP), de los cuales es aún desconocida su composición. El objetivo de este trabajo es presentar la caracterización de los RHNP del sector salud de Morelia Michoacán, con la finalidad de determinar la composición de estos residuos.

2. Metodología

2.1 Selección del área de estudio

El presente estudio se realizó en la ciudad de Morelia Michoacán, México. (20° 42' N, longitud 101° 11' O, altitud 1920 msnm) [9], durante el mes de marzo de 2016, en unidades de segundo y tercer nivel de atención a la salud, seleccionándose 7 centros hospitalarios del sector y público (Tabla 2).

Tabla 2. Unidades hospitalarias

Centro hospitalario	Dependencia	Nivel
UAH-1	Público (SSM)	Tercer Nivel de Atención
UAH-2	Público (SSM)	Segundo Nivel de Atención
UAH-3	Público (SSM)	Segundo Nivel de Atención
UAH-4	Público (SSM)	Segundo Nivel de Atención
UAH-5	Privado	Tercer Nivel de Atención
UAH-6	Privado	Tercer Nivel de Atención
UAH-7	Privado	Segundo Nivel de Atención

2.3 Estudio de caracterización de residuos hospitalarios no peligrosos (RNHP)

2.3.1 Selección de la muestra

La muestra de estudio fue seleccionada a partir de los residuos contenidos en el camión recolector (capacidad de carga de 2 toneladas) generados en los 7 centros hospitalarios, los cuales son recolectados diariamente por servicio de aseo público municipal. Los RH fueron llevados al relleno sanitario municipal, donde fueron mezclados para extraer una muestra homogénea y representativa de la cantidad total recolectada por día.

La muestra fue determinada con un nivel de confianza del 90% (10% de margen de error y un 50% de coeficiente de variación), lo que corresponde a una cantidad de 96 kg de residuos [10]. Los residuos se caracterizaron durante una semana, y clasificaron de acuerdo a la (Tabla 3).

Una vez caracterizados, los residuos fueron pesados con una báscula mecánica de capacidad de 10 kg, y los datos obtenidos fueron capturados en un formulario diseñado para la realización de este estudio.

2.4. Análisis de datos

La información fue trasladada en una base de datos del programa Microsoft Excel versión 2013, donde se generaron las gráficas correspondientes y se realizó un análisis descriptivo de los resultados.

2.5 Resultados y discusión

Se caracterizó un promedio de 96 kg de RHNP por muestreo de los cuales, el 77.50% corresponde a los RHNP-recuperables, que se componen de papel, cartón, plásticos, vidrio, metales, textiles y madera. Los RHNP-biodegradables ocupan el 19.0% y se componen por los residuos de cocina y jardinería.

Tabla 3. clasificación de residuos hospitalarios no peligrosos.

Categorías	Subcategorías
RHNP-recuperables	Papel • Oficina • Sanitario
	Cartón • Común • Tetrapak
	Plástico • Film • Densé
	Vidrio
RHNP-biodegradables	Metal • Ferroso • No-ferroso
	Cocina
	Jardín
	Residuos farmacéuticos
RHP-tóxicos	Lámparas de barra
	Pilas

Dentro de los residuos estudiados destaca la presencia de RHP de carácter tóxico y suman el 3.5% del total de los residuos. Estos residuos no deben ser mezclados en la corriente de RHNP, pues representan un signo de alarma al medio ambiente (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de la caracterización de los RHNP muestreados

Categorías	Sub-categorías	Kilogramos (kg)	Porcentaje (%)
RHNP		236.97	96.52
<i>RHNP-Recuperables</i>		190.28	77.51
	Papel y Cartón	79.41	32.35
	Plástico	52.27	21.29
	Metal no-ferroso	1.41	0.57
	Vidrio	3.68	1.50
	Madera	8.90	3.63
	Textiles	44.61	18.17
<i>RHNP-Biodegradables</i>		46.69	19.02
	Cocina/Jardín	46.69	19.02
RHP		8.54	3.48
Tóxicos		8.54	3.48
	Residuos de medicamento	3.68	1.50
	Lámpara de barras	4.46	1.82
	Pilas	0.40	0.16
<i>Total</i>		245.51	

De acuerdo a la Tabla 4, los RHNP presentan similares características a los residuos sólidos domésticos (RSD), pero en diferente distribución.

En la tabla 5 se presenta la distribución de la generación de RHNP y los RSD. Por un lado se observa que la mayor cantidad de los RSD se integra por residuos biodegradables con el 40.88%, mientras que en el sector hospitalario estos residuos ocupan el 19.2%. Por otra parte, los residuos recuperables para el sector doméstico, representan el 55.46% a diferencia del sector hospitalario el cual es del 77%, esto se puede atribuir a la mayor circulación de productos empacados debido al volumen de atención médica. En cambio en el sector domiciliario la circulación de productos empacados es menor.

Tabla 5. Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios y hospitalarios

Sector Salud		Sector Doméstico	
Categorías	Porcentaje (%)	Categorías	Porcentaje (%)
<i>RHNP-Recuperables</i>	77.50	<i>RSD-Recuperables</i>	55.46
Papel y Cartón	32.35	Cartón y papel	19.03
Plástico	21.29	Plásticos	4.03
Metal no-ferroso	0.57	Metal no-ferroso	11.74
Vidrio	1.50	Vidrio	1.29
Madera	3.63	Madera	14.62
Textiles	18.17	Textiles	5.05
<i>RHNP-Biodegradables</i>	19.02	<i>RSD-Biodegradables</i>	40.88
Cocina/Jardín	19.02	Cocina/Jardín	40.88
<i>RHP-Tóxicos</i>	3.48	<i>RSD-material construcción</i>	3.66
Residuos de medicamento	1.50	Loza y cerámica	3.36
Lámpara de barras	1.82		
Pilas	0.16		
<i>Total</i>	100.0	<i>Total</i>	100.00

La cantidad generada de RHNP fue de 1.3 toneladas/día, lo que resulta en una tasa de generación de 3.1 kg de RHNP/cama/día. Por otra parte de RHP hay un total de 0.4 toneladas lo que corresponde a una tasa de generación de 0.8 kg de RHP/cama/día, residuos que no deberían ser mezclados y eliminados junto con los RHNP (Tabla 6).

Tabla 6. Tasas de generación de Residuos Hospitalarios No-Peligrosos

Centro Hospitalario	Camas	RHNP	RHP	RH TOTAL
	censables	(kg/día)	(kg/día)	(kg/día)
UAH-1	40	124.5	33.9	158.4
UAH-2	90	280.2	76.3	356.4
UAH-3	75	233.5	63.5	297.0
UAH-4	90	280.2	76.3	356.4
UAH-5	70	217.9	59.3	277.2
UAH-6	23	71.6	19.5	91.1
UAH-7	40	124.5	33.9	158.4
Total	428	1332.4	362.6	1695.0
Tasa de generación kg/cama/día		3.1	0.8	4.0

Los resultados sugieren que la generación de RH en los 7 centros hospitalarios corresponde a alrededor de 415.7 toneladas de RH/año en Morelia, Michoacán. Adicionalmente, es evidente que la tasa de generación de RH está sesgada: la corriente de RHP no debería de mezclarse con los residuos generales, lo que ocasiona que exista una tasa de generación de residuos peligrosos desechados pero sin cuantificar y por ende, la generación de residuos generales estaría sobre calculada.

3. Conclusión

La atención a la salud representa un sector de gran relevancia en la generación de residuos sólidos uno de los principales problemas por los cuales evoluciona el cambio climático. La generación de RHNP en este sector implica costos sociales, económicos, sanitarios y medio ambientales que dejan de lado el principio de no daño por parte de las instituciones de salud pública.

Hasta el momento se desconocen investigaciones en el tema de RHNP y lo poco que existe se enfoca en los RPBI, a pesar de que los RHNP están representados por el 85% de la generación total del sector hospitalario, los resultados del estudio indican que la mayor parte de los residuos caracterizados son recuperables y también la presencia de RHP, lo cual permite plantear la necesidad e importancia de los RHNP y su correcta gestión integral, lo que permitiría evitar posibles riesgos laborales para quien trabaja en la manipulación de estos y contribuir a disminuir la contaminación del medio ambiente, a través de la reutilización de los residuos recuperables.

2.4. Referencias

- [1]. Gusca, J., Kalnins, S. N., Blumberga, D., Bozhko, L., Khabdullina, Z., & Khabdullin, A. (2015). Assessment Method of Health Care Waste Generation in Latvia and Kazakhstan. *Energy Procedia*, 72, 175–179. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.06.025>
- [2] EPA. (2012). U. S. Environmental Protection Agency. Recuperado el 04 de Febrero de 2016, de Medical Waste: <http://www3.epa.gov/epawaste/nonhaz/industrial/medical/>
- [3].-DOF. (2003). *Ley General Para La Prevención Y Gestión Integral De Los Residuos*, *Diario Oficial de la Federación* 10–37. México D.F. Retrieved from.
- [4]DOF. (2003). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, PROTECCIÓN AMBIENTAL - SALUD AMBIENTAL - RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS - CLASIFICACIÓN Y ESPECIFICACIONES DE MANEJO. Norma Oficial Mexicana, *Diario Oficial de la Federación*, México, Distrito Federal.
- [5].Fleitas-Estévez, G. G., Peralta-Vital, J. L., Gil-Castillo, R., Díaz.Velázquez, A., & Pujol-Pozo, A. (2013). ESTRATEGIAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN SEGURA DE PRODUCTOS QUÍMICOS CADUCOS Y OCIOSOS. *Ciencia En Su PC*, (3), 12–27.
- [6].Ferreira R., A. J., Martins, A. J., Mouette, D., Salgueiro D., M. A., Monezzi J., O., Silva, P. J. da, Gomes L. A., V. R. (2005). Los Servicios de Salud y la Generación de Residuos Sólidos. *CENIC. Ciencias Biológicas*, 36. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220525057>
- [7].Mata S., A. M., & Reyes G., R. E. (2006). Normativa vigente en algunos países de América Latina sobre residuos hospitalarios. *Universidad, Ciencia Y Tecnología*, 10(37), 46–49.
- [8].OMS. (2015). Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 04 de Febrero de 2016, de Desechos de las actividades de atención sanitaria: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs253/es/>.
- [9].- INEGI. (02 de 04 de 2016). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/>
- [10].-EC. (2004). Methodology for the Analysis of Solid Waste (SWA-Tool) User Version. European Commission. Recuperado el 2016 de Abril de 10, de www.wastesolutions.org www.swa-tool.net

Estimación de la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en la zona metropolitana del valle de México

Marina Ivette Ruiz Mondragón, Saúl Hernández Islas, Fabián Robles Martínez.

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI). Instituto Politécnico Nacional (IPN). Av. Acueducto s/n, Barrio La Laguna Ticomán. 07340 México, D.F. Tel. 57296000 ext. 56470 Correo-e: froblesm@ipn.mx

Resumen

En las últimas décadas la generación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) se ha convertido en el flujo de residuos de más rápido crecimiento, debido principalmente al desarrollo de la tecnología y su fácil acceso; sin embargo, el manejo de estos residuos continúa siendo informal en muchos países, generando así problemas a la salud y al ambiente por el inadecuado tratamiento y disposición, contaminando el agua, suelo y aire.

El presente trabajo se llevó a cabo en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) ya que es el principal centro económico y poblacional de México. Esta zona comprende las 16 delegaciones de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y uno del estado de Hidalgo. El objetivo principal del estudio fue determinar la cantidad de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) en uso y dados de baja por los habitantes de la ZMVM para estimar la cantidad de RAEE que se están generando anualmente e identificar el destino final de éstos. Para la recopilación de la información se aplicó una encuesta, para esto se formuló un cuestionario que contestaron 523 personas, a las que se les preguntó sobre el número de equipos en uso, obsoletos y dados de baja en los últimos 12 meses, así como sobre el tiempo de vida útil promedio de los AEE, el tiempo de almacenamiento en el hogar y el destino final.

Palabras Clave: *Tecnología, generación, equipos.*

1. Introducción

Desde el inicio de la humanidad, el hombre se ha caracterizado por modificar e innovar de todas las formas posibles su entorno, en un principio el único objetivo era su supervivencia, sin embargo, con el paso del tiempo este objetivo se transformó en supervivencia y comodidad, hasta llegar al punto en que la comodidad se convirtió en una necesidad y superó a la supervivencia convirtiéndose en su mayor problema.

Un claro ejemplo de esta necesidad de innovación son todas las tecnologías de información y comunicación (TIC's), las cuales constituyen una de las principales líneas de producción de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) y por consiguiente de residuos; en inglés, el término más conocido es e-waste, una versión más práctica del término oficial de la Unión Europea: WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment). Este término se impuso a nivel internacional contra otros términos como e-scrap o e-trash. En español, WEEE equivale a RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos), que es el término oficial en los países de habla española [1].

Debido a que no existe una definición específica sobre los AEE, por lo cual se considera la del artículo 3 b) del Real Decreto 110/2015 [1], publicado el 20 de febrero en España, sobre RAEE, que define como AEE todos los aparatos que para funcionar debidamente necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos, y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos, que están destinados a utilizarse con una tensión nominal no superior a 1.000 voltios en corriente alterna y 1.500 voltios en corriente continua.

En México la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [2] en el artículo 19, fracción VIII define a los RAEE como residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que al transcurrir su vida útil, por

sus características, requieren de un manejo específico y de acuerdo a este mismo artículo se clasifican dentro de la categoría de residuos de manejo especial definidos como aquellos residuos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

Los AEE están compuestos de cientos de materiales diferentes, tanto valiosos como potencialmente peligrosos. Oro, plata, paladio y cobre son algunos de los materiales valiosos que se pueden recuperar de los RAEE; plomo, cadmio, mercurio, cromo hexavalente y arsénico son algunos de los componentes peligrosos que pueden estar presentes en los equipos eléctricos y electrónicos en desuso, lo cual va a depender del tipo de tecnología, país de origen y del fabricante [1]. En 2005 se dio a conocer que los desechos electrónicos generalmente están constituidos por: polímeros en un 30% (plásticos), óxidos refractarios en un 30% (cerámicos) y por metales en un 40%, los cuales pueden ser divididos en dos grupos:

1. Metales básicos:

- a. Cobre del 20% al 50%
- b. Hierro del 8% al 20%
- c. Níquel del 2% al 5%
- d. Estaño del 4% al 5%
- e. Plomo aproximadamente 2%
- f. Aluminio del 2% al 5%
- g. Zinc del 1% al 3%

2. Metales preciosos:

- a. Oro de 170g a 850g aproximadamente el 0.1%
- b. Plata de 198g a 1698g aproximadamente el 0.2%
- c. Paladio de 3g a 17g aproximadamente el 0.005% [3]

Los RAEE presentan un riesgo potencial para el ambiente según el manejo que se les dé, así como una oportunidad de negocio dado el contenido de materiales valiosos y peligrosos [4]. Si bien las sustancias peligrosas no representan un riesgo durante la fase de utilización de los equipos, pueden ser perjudiciales cuando entran en desuso, específicamente cuando son sometidos a procesos de desensamble en condiciones no adecuadas en las cuales no se tenga en cuenta su potencial peligro [5]. En los países en vías de desarrollo es frecuente la falta de legislación que regule el desensamble de los RAEE, lo que ocasiona que sean personas de bajos recursos económicos los que lleven a cabo esta actividad empleando procesos sin ningún tipo de control y sin las técnicas y equipos adecuados, utilizando la incineración como uno de los principales métodos, que aunado a la incorrecta disposición en tiraderos, cuerpos de agua e incluso rellenos sanitarios representan un alto riesgo para la salud humana y la contaminación de suelo, aire y agua.

Cabe resaltar que estas prácticas se potencializan aún más con el aumento de los precios de los metales, en particular de cobre, níquel, oro, plata, hierro y aluminio, los cuales pueden ser extraídos y vendidos localmente para ser exportados a los mercados globales. Se estima que, en los 230 millones de computadores y los 1,000 millones de teléfonos celulares vendidos en el 2006, las cantidades de oro y plata pueden llegar aproximadamente a 70 toneladas y 535 toneladas respectivamente, lo que para cada uno de estos metales corresponde a cerca del 3% de la producción minera mundial; para el paladio estas cifras incluso llegan a 18 toneladas, o un 12% [6].

Un informe de la ONU en 2012 [7], estimó que para el año 2017 la basura electrónica mundial se incrementará un 33% adicional, es decir de 49,7 millones incrementará a 65,4 millones de toneladas por año, por lo que se han convertido en uno de los problemas ambientales de más rápido crecimiento, debido a que el 90% de éstos residuos continúan sin tener una adecuada disposición final lo que representa un gran riesgo a la salud humana y ambiental debido a los componentes peligrosos que componen a estos residuos.

Aunado a la gran generación de residuos eléctricos y electrónicos el apagón analógico 2015 incrementa aún más la necesidad de un adecuado manejo de estos residuos, por lo cual este trabajo fue planteado para tener una estimación confiable de la cantidad de aparatos eléctricos y electrónicos que llegan al término de su vida útil o se consideran obsoletos convirtiéndose en residuos eléctricos y electrónicos.

2. Metodología

2.1. Zona de estudio

El estudio se realizó en la ZMVM, debido principalmente a su elevada densidad de población (elevado número de consumidores de AEE) y su intensa actividad económica.

2.2. Formulación de preguntas

Se diseñó un cuestionario de 15 preguntas cerradas, con la finalidad de obtener información sobre: los patrones de consumo de AEE, la generación de RAEE una vez que los equipos se encuentran obsoletos y/o inservibles, el tiempo de vida útil y almacenamiento de estos equipos en los hogares, así como los métodos utilizados convencionalmente para deshacerse de los RAEE.

Los equipos considerados para este estudio fueron:

Equipos electrónicos

- Telvisores digitales
- Celulares
- Computadoras de escritorio
- Laptops
- Impresoras
- Escaneres
- Video cámaras
- Otros electrónicos (DVD, consolas, tablets, juguetes, etc.)

Equipos electrodomésticos:

- Refrigerador
- Lavadora
- Horno de microondas
- Licuadora
- Plancha
- Estufa
- Otros electrodomésticos (Batidora, secadora, aspiradoras, neveras, etc.)

2.3. Determinación del tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra requerida con un nivel de confianza del 95% se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$n = \frac{z^2 N p q}{e^2 (N - 1) + z^2 p q} \quad (1)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

N = Tamaño de la población

p = Probabilidad de éxito (50%)

q = Probabilidad de fracaso (50%)

z = Nivel de confianza asignado (95%, 96%)

e = Error (5%, 4%)

El número total de hogares en la ZMVM considerados para este estudio fue de 5,310,552 [8] y aplicando un nivel de confianza del 95% el tamaño de la muestra es de 497, sin embargo, el total de encuestas aplicadas fue de 523, por lo cual el intervalo de confianza se encuentra entre el 95% y 96% (660 encuestas).

2.4. Difusión de encuestas

Para la recopilación de datos se hizo uso de un software para encuestas online (QuestionPro) con licencia profesional, la encuesta estuvo disponible del 5 de febrero al 17 de abril de 2016 en: <http://www.questionpro.com/a/TakeSurvey?id=4440799>.

La difusión de la encuesta se hizo principalmente por medio de redes sociales: Facebook, WhatsApp y Correo electrónico, así como con alumnos y profesores de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología.

2.5. Tratamiento de resultados

El software QuestionPro está diseñado para exportar los datos de la encuesta directamente a Excel y tiene un conjunto de funciones que permiten generar resúmenes en tiempo real, tablas y gráficas. Con estas dos herramientas se organizaron los resultados de acuerdo a las necesidades del estudio y se realizaron las respectivas tablas y graficas respectivas.

3. Resultados y Discusión

3.1. Datos generales

La ZMVM comprende las 16 delegaciones de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y un municipio del estado de Hidalgo. El 51.63% de los encuestados habitan en el Estado de México y 48.37% en la Ciudad de México.

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2010 [8] en la mayoría de los hogares habitan 4 personas, lo que concuerda con los resultados de las encuestas aplicadas, ya que el 28% de los encuestados habitan en hogares con 4 personas siendo la fracción más representativa.

3.2. Situación actual de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

A partir de la aplicación de la encuesta, se obtuvo información acerca del número de AEE con los que cuenta la población muestreada, así como la cantidad de equipos que fueron dados de baja en el último año, ya sea porque se convirtieron en equipos obsoletos para su poseedor o bien llegaron al final de su vida útil. En la tabla 1 se presentan los resultados de los 523 hogares, en los cuales se observa que el equipo con mayor relevancia tanto en los aparatos en uso, como en los regalados y dados de baja en el último año son los celulares, lo que demuestra el impacto de este equipo en la vida actual, ya que hoy en día la mayoría de las personas cuentan con un equipo móvil e incluso la edad de adquisición de éstos es cada vez menor, teniendo en promedio más de 3 celulares por hogar y representado el 16.70% del total de equipos en uso, el 31.98% del total de equipos regalados en el último año y el 29.30% del total de equipos dados de baja.

En cuanto a los aparatos en uso, en segundo lugar se encuentra la categoría de otros electrónicos, entre los cuales se identifican DVD, consolas, juguetes, modems, etc. representando el 11.30%, en tercer lugar de uso están los televisores digitales con un 10.50% y en cuarto las laptops con 9.51%, cabe señalar que el resto de los equipos presenta un porcentaje de equipos en uso menor al 6% y en el caso de los electrodomésticos se tiene en promedio un equipo por hogar debido principalmente a que estos aparatos son de uso común.

Con respecto a los aparatos adquiridos en el último año, ya sea regalados o comprados, en segundo lugar se encuentran los televisores digitales con un 12.78%, pues a pesar de no ser un equipo de uso personal como los celulares, la implementación del apagón analógico a finales del año 2015 aumentó la demanda de estos aparatos. En tercer lugar de adquisición está la categoría de otros electrónicos con un 10.90% y en cuarto las laptops con un 9.55%, esto demuestra que los equipos electrónicos son los equipos de mayor adquisición

en la ZMVM, pues estas cuatro categorías corresponden a más del 65% del total de equipos vendidos en un año.

Del total de equipos dados de baja en un año, los celulares y televisores digitales representan casi el 50% del total de equipos desechados, 29.30% celulares y 18.68% televisores digitales respectivamente, lo que concuerda totalmente con los resultados de los equipos recibidos en el último año, ya que un equipo se da de baja por llegar al final de su vida útil o simplemente por sustituirlo por uno más actual o nuevo. De las 15 categorías de AEE, 7 presentan un mayor número de equipos recibidos que dados de baja en un año, siendo los celulares y laptops los más representativos.

Tabla 1. AEE en uso, adquiridos y desechados en el último año en la ZMVM

AEE	En uso		Recibidos en el último año		Dados de baja en el último año	
	Equipos	%	Equipos	%	Equipos	%
Televisor digital	1058	10.50	237	12.78	329	18.68
Celular	1682	16.70	593	31.98	516	29.30
Computadora de escritorio	351	3.48	31	1.67	80	4.54
Laptop/ Netbook	958	9.51	177	9.55	98	5.57
Impresora	462	4.59	74	3.99	107	6.08
Escáner	287	2.85	36	1.94	51	2.90
Vídeo cámara	308	3.06	33	1.78	33	1.87
Otros electrónicos	1138	11.30	202	10.90	141	8.01
Refrigerador	589	5.85	54	2.91	41	2.33
Lavadora	511	5.07	54	2.91	60	3.41
Horno de Microondas	442	4.39	59	3.18	70	3.98
Licuadaora	583	5.79	86	4.64	67	3.80
Plancha	602	5.98	89	4.80	101	5.74
Estufa	536	5.32	39	2.10	22	1.25
Otros electrodomésticos	565	5.61	90	4.85	45	2.56
Total	10072	100.00	1854	100.00	1761	100.00

De acuerdo a los datos reportados por INEGI [8] en 2010 el número de hogares en la ZMVM era de 5,310,552, de forma que los resultados obtenidos con las 523 encuestas aplicadas, correspondientes a un intervalo de confianza entre 95 y 96%, fueron extrapolados al total de hogares de la ZMVM para estimar la cantidad total de RAEE que están siendo generados en un año en esta zona, los resultados se presentan en la tabla 2, en donde se observa que anualmente en la ZMVM se adquieren 18,825,551.45 de equipos y se dan de baja 17,881,227.67, lo que significa que cada año se tiene aproximadamente un millón de equipos más en los hogares.

En cuanto al tiempo de vida útil promedio de los AEE, a excepción de los celulares, para los cuales el tiempo de vida útil más representativo es de 2 años, la mayoría de los encuestados indican que todos los equipos presentan un tiempo de vida útil mayor a 3 años y con respecto al tiempo de almacenamiento, el más representativo en todos los equipos corresponde a un periodo de menos de un año, sin embargo, para el caso de los celulares el almacenamiento por más de tres años es prácticamente igual de representativo, reflejando así el apego sentimental que en ocasiones crean los usuarios con los equipos, razón por las que no quieren deshacerse de ellos.

Finalmente, en cuanto al destino de los RAEE, la mayoría de las personas conserva los equipos electrónicos almacenados en las casas, todo lo contrario a los equipos electrodomésticos, los cuales son comúnmente vendidos o donados a chatarreros incrementando la posibilidad de causar daños a la salud y ambiente, pues comúnmente éstos llevan a cabo un reciclaje informal (sin las condiciones de seguridad y tecnología requerida) para recuperar los materiales valiosos y no se considera el manejo de los componentes peligrosos que pueden llegar a estar presentes en los AEE.

Tabla 2. Aparatos y Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en la ZMVM

AEE	Equipos en uso	Equipos comprados o recibidos en el último año	Equipos dados de baja en el último año	Tiempo de vida útil (años)	Tiempo de almacenamiento (años)	Destino final
Televisor digital	10,742,952.23	2,406,502.53	3,340,672.29	Más de 3	Menos de 1	Almacenado
Celular	17,079,060.16	6,021,333.34	5,239,473.87	2	Menos de 1/Más de 3	Almacenado
Computadora de escritorio	3,564,060.71	314,774.59	812,321.53	Más de 3	Menos de 1	Almacenado
Laptop/ Netbook	9,727,550.32	1,797,261.38	995,093.87	Más de 3	Menos de 1	Almacenado
Impresora	4,691,156.83	751,397.41	1,086,480.05	Más de 3	Menos de 1	Almacenado
Escáner	2,914,203.49	365,544.69	517,854.98	Más de 3	Menos de 1	Almacenado
Video cámara	3,127,437.89	335,082.63	335,082.63	Más de 3	Menos de 1	Almacenado /Desconoce
Otros electrónicos	11,555,273.76	2,051,111.86	1,431,716.70	Más de 3	Menos de 1	Almacenado
Refrigerador	5,980,717.26	548,317.03	416,314.78	Más de 3	Menos de 1	Chatarrero
Lavadora	5,188,703.77	548,317.03	609,241.15	Más de 3	Menos de 1	Chatarrero
Horno de microondas	4,488,076.45	599,087.13	710,781.34	Más de 3	Menos de 1	Chatarrero
Licuada	5,919,793.15	873,245.64	680,319.28	Más de 3	Menos de 1	Almacenado
Plancha	6,112,719.51	903,707.70	1,025,555.93	Más de 3	Menos de 1	Chatarrero
Estufa	5,442,554.25	396,006.75	223,388.42	Más de 3	Menos de 1	Chatarrero
Otros electrodomésticos	5,737,020.80	913,861.72	456,930.86	Más de 3	Menos de 1	No lo sabe
Total	102,271,280.58	18,825,551.45	17,881,227.67			

4. Conclusiones

Con base en los resultados de las 523 encuestas se determinó la cantidad de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos generados anualmente en la ZMVM, dando un total de 17,881,227.67 equipos de los cuales el 29.30% corresponde a celulares, siendo este equipo el mayormente dado de baja y el que presenta el menor tiempo de vida útil (2 años).

Asimismo, se identificó que la mayoría de las personas almacena los equipos dados de baja un periodo menor a un año, sobre todo los electrodomésticos ya que éstos ocupan mayor espacio en los hogares que los aparatos electrónicos y en cuanto al destino final la mayoría se disponen con chatarreros ya que para los generadores resulta más sencillo y además reciben un beneficio económico, dificultando así la aplicación de un adecuado manejo integral de los residuos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). 1762 Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. En línea <<http://www.boe.es/boe/dias/2015/02/21/pdfs/BOE-A-2015-1762.pdf>> Recuperado el 16/04/2016.
- [2] *Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* (2003). Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada DOF 22-05-2015.
- [3] Castellanos, N. (2005). La chatarra electrónica, la contaminación ambiental y su efecto económico. En línea <<http://www.forumcyt.cu/UserFiles/forum/Textos/0209008.pdf>> Recuperado el 16/04/2016.
- [4] Aguirre, H. & FitzGerald, J. (2007). *Manual para la Gestión de Residuos y Componentes Electrónicos en Latinoamérica y el Caribe*. La Paz, Bolivia.
- [5] Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann M. & Boni, H. (2005). *Global perspectives on e-waste*. Environ Impact Assess, 25, 436-458. doi:10.1016/j.eiar.2005.04.001.
- [6] Hagelüken, C. (2007). The Challenge of Open Cycles – Barriers to a Closed Loop Economy Demonstrated for Consumer Electronics and cars. Suiza: R'07 World Congress Recovery of Materials and Energy for Resource Efficiency. En línea <https://www.researchgate.net/publication/228872531_The_challenge_of_open_cycles-Barriers_to_a_closed_loop_economy_demonstrated_for_consumer_electronics_and_cars> Recuperado el 23/04/2016.
- [7] StEP (2005). Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies. Recycling from E-waste to Resources. Berlín, Alemania: UNEP. En línea <http://www.step-initiative.org/?file=files/step2014/Publications/Green%20and%20White%20Papers/Step%20Green%20Paper_Prevention%26Take-backy%20System.pdf> Recuperado el 13/05/2016.
- [8] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011). Sistema para la consulta del cuaderno estadístico de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011. En línea <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cezm11/estatal/default.htm>> Recuperado el 17/04/2016.

Caracterización de residuos sólidos en playa Audiencia, Manzanillo, Colima: diagnóstico ante el proceso de certificación

¹Lidia Silva Iñiguez, ¹Roxana Pérez López, ²José Luis Hernández Vidal, ²Omar Gustavo Cruz Hernández,

¹Claudia Guadalupe Gutiérrez Corona y ³Gloria Alicia Jiménez Ramón

¹Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima. Km 19 Carretera Manzanillo-Barra de Navidad. Manzanillo, Col. C.P.

28868Teléfono (314) 3311205 e-mail: lsilva@uclm.mx ² Universidad Tecnológica de Manzanillo ³Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas, Universidad de Colima.

Resumen

Con la finalidad de conocer si la playa Audiencia cumplía con los criterios establecidos para residuos sólidos en la NMX-AA-120-SCFI-2006 para su certificación, se cuantificaron y clasificaron éstos durante el periodo febrero-marzo del 2015. A lo largo de la playa se establecieron 10 transectos perpendiculares a la costa de manera equidistantes, midiendo cada uno, un metro de ancho desde la línea de marea hasta la zona de vegetación o construcción. En cada transecto se clasificaron y cuantificaron los residuos sólidos con base al tipo de material. Se registró un total de 1,226 ítems/160 m² o una densidad equivalente a 7.6 ítems/m². Encontrándose el 66.7% de la abundancia de los desechos sólidos en los extremos de la playa y los residuos de papel/cartón, plástico, restos de alimento y residuos naturales aportando el 73% del total de los residuos sólidos contribuyendo fuertemente a la contaminación de la playa. El número de residuos sólidos presente en la playa durante el periodo evaluado excedió el límite máximo permisible por la norma. Por lo tanto, si el municipio de Manzanillo pretende certificar la playa, deberá trabajar arduamente involucrando a todos los actores de la misma (visitantes, prestadores de servicios, pescadores y habitantes) realizando programas de sensibilización y educación ambiental enfocados a minimizar la generación de residuos sólidos en la playa y zona adyacente de 800 m como lo marca la norma mexicana. Así como, llevar a cabo limpiezas exhaustivas y fomentar actitudes para el uso y cuidado de la playa.

Palabras Clave: *Desechos, Diagnóstico, Playa*

1. Introducción

Las playas son el recurso natural más demandado en el mundo por el hombre para vacacionar, convirtiendo la actividad turística como el principal uso de los últimos cincuenta años [1], resaltando así la importancia de esta actividad debido a las valiosas contribuciones económicas a los destinos turísticos [2], [3]. Desafortunadamente, la actividad turística sigue creciendo y ejerciendo fuerte presión sobre todo en los ambientes marino-costeros, a tal grado que el impacto negativo en estos recursos naturales muestran signos de deterioro ambiental, afectando la calidad de la estructura y el funcionamiento ecosistémico acuáticos asociados a las aguas superficiales (estado ecológico), la estabilidad costera, la calidad estética y paisajística del medio ambiente y sobre todo afectando la experiencia recreativa de los turistas que los visitan. Como es sabido, el turismo estimula la expansión de otras actividades económicas como agricultura, pesca, manufacturera y artesanía, fomenta el desarrollo de nuevas y mejores instalaciones comerciales y culturales que son usadas por la comunidad local y sus visitantes. Sin embargo, el uso incontrolado por parte de los turistas ocasiona problemas ambientales principalmente de contaminación; convirtiendo las ventajas ofrecidas por el crecimiento del turismo en todo lo contrario para las comunidades que los reciben [4], [5]. Por ejemplo, en 2011, una gran cantidad de desechos marinos varado en las playas de Island Geoje, Corea del Sur, causó la disminución del 63% en el número de visitantes desde el año anterior y una pérdida de ingresos del turismo por 29 -37 millones USD [6], y en el sureste de Florida, [7], reportaron que las alteraciones de playas por las actividades humanas se ha traducido en una pérdida sustancial del funcionamiento natural de los hábitats de playa y una disminución de la diversidad biológica.

La sustentabilidad en el turismo es uno de los principales retos para la gestión, cuya tendencia a la masificación conduce a repensar no sólo los patrones de desarrollo de los destinos, sino en los patrones de consumo que exigen destinos más limpios, más seguros y responsables con el medio ambiente, ya que los principales impactos en los entornos naturales se originan actualmente por servicios municipales deficientes, sobre todo en materia de tratamiento de aguas residuales y la gestión integral de los residuos sólidos [8], [9], lo cual fue percibido por 4000 turistas encuestados en diferentes playas del mundo, quienes expresaron que: la seguridad, calidad del agua, ausencia de basura, instalaciones y paisaje, son los cinco parámetros principales que los usuarios buscan cumplir la playa a visitar y su orden de importancia depende del tipo de playa (resorts a rurales), [10].

Actualmente, los residuos sólidos marinos o costeros, se define como los desechos sólidos de origen antropogénico, que llega en forma directa o indirecta al medio marino amenazando su condición natural o estética y ocasionando problemas de contaminación. Estos residuos tiene una gran capacidad de dispersión, de tal manera que puede encontrarse flotando en la superficie o en la columna de agua y depositada en el fondo.

La presencia de desechos costeros en las playas, afecta la experiencia recreativa de los turistas, causando en ellos un sentimiento de asco y/o repudio pudiendo llegar a producir éste, el abandono del sitio [11]. Dada la importancia y demanda turística que tiene la playa Audiencia en Manzanillo, Col., el Comité Local de Playas Limpias (conformado por la Secretaria de Turismo, el Sector Empresarial, Prestadores de Servicios, y Representantes de los tres Órdenes de Gobierno, el Poder Legislativo, Universidades, Organizaciones Sociales y Organismos Internacionales), está interesado en certificar esta playa y avanzar en la gestión sustentable de la misma, para reducir los riesgos de salud de los usuarios, mejorar la estética, conservar la biodiversidad e incrementar la competitividad del destino turístico con base en los criterios establecidos en la Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI-2006.

Por lo antes expuesto el objetivo de esta investigación fue realizar el diagnóstico de residuos sólidos en la playa Audiencia Manzanillo, Col., con base en los criterios establecidos en la NMX-AA-120-SCFI-2006 para definir si podía ser certificada. Para lo cual fue necesario clasificar y cuantificar los residuos sólidos presentes en la playa Audiencia y comparar con los criterios establecidos para residuos sólidos por la norma mexicana.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

La Audiencia es una playa protegida de bolsillo (playa pequeña desarrollada entre salientes rocosas o entre espigones), su longitud es de 380 m y la amplitud es variable, midiendo en la parte más amplia 27 m (medidos en bajamar), se ubica al sur de la bahía Santiago en la península del mismo nombre. Se localiza a los 19° 6' 19.68" latitud N y a los 104°21' 2.54" longitud W (Figura 1); presenta pendiente de moderada a ligera del centro hacia los extremos, el tamaño del grano de arena va de medio a grueso y en los extremos el tamaño de grano varía de fino a medio, el color de la misma es dorado con fondo negro, el oleaje es ligero y durante casi todo el año las corrientes de retorno están ausentes o son muy pequeñas. Las principales actividades recreativas que practican los visitantes en la parte emergida son: caminatas, baños de sol, apreciación del paisaje, voleibol playero y se llevan a cabo eventos sociales como bodas, celebraciones de aniversarios, toma de fotografías principalmente en cambio, en la parte sumergida se usa para bañarse, nadar, apreciación del paisaje subacuático (snorkelear y bucear), kayak, paseos en lancha por la bahía, banana, skyjet entre otros.



Figura 1. Playa Audiencia, Manzanillo, Col.

2.2 Trabajo de campo

Durante el periodo de 18 de febrero al 11 de marzo de 2015, se realizaron cuatro campañas de muestreos los días miércoles y sábados (por campaña) por las tardes en 10 transectos distribuidos perpendicularmente a la línea de costa y de manera equidistante uno de otro; la longitud del transecto fue variable, dependió de la amplitud de la playa (inicio al límite de la vegetación de dunas o construcción y terminó en la línea de marea), por un metro de ancho y hasta a lo largo de la playa (Figura 2).

En cada transecto se clasificaron y cuantificaron los residuos sólidos con base al tipo de material del mismo: plástico, papel/cartón, metal, vidrio, unicel, madera, tela, restos de alimento, vegetación terrestre y heces fecales. Sin que los objetos se levantaran o removieran de acuerdo a la metodología propuesta por [12].

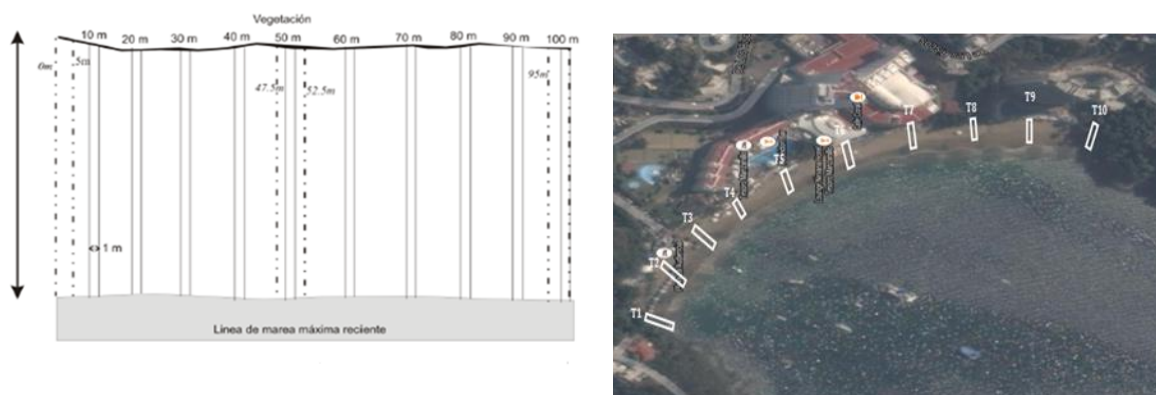


Figura 2. Diseño de los transectos, tomado de Velander y Macogni, 199. Transectos en la playa Audiencia

2.3 Trabajo de gabinete

Para evaluar el cumplimiento de los criterios establecidos para residuos sólidos en la Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI-2006, fueron comparados los siguientes criterios:

Tipo de residuo (Clasificación). Los residuos sólidos son generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques: Los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por la Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos como residuos de otra índole.

No debe existir materia fecal

1.- No deben existir residuos peligrosos en la playa (Residuos Peligrosos: Aquellos listados en la NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características y procedimientos de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos).

2.- En la playa no habrá presencia de ningún tipo de residuo considerado como riesgoso de conformidad con la definición de la presente norma (Residuo Riesgoso: Residuos sólidos que pueden herir, lastimar o dañar al hombre o a la flora y fauna. Para efectos de esta norma serán considerados como tales: pedacería de vidrio, fierro, latas mal abiertas, alambre, clavos, recipientes metálicos, y objetos punzo cortantes, entre otros.

3.- *Límite máximo permisible de residuos sólidos en superficie en la playa (Cuantificación);* será máximo de 5 unidades o ítems por cada transecto de 100 m., las cuales no deben rebasar los 5 kg de peso, o 0,5 m³ de volumen.

3. Resultados y Discusión

Los residuos sólidos son uno de los principales contaminantes que disminuye la belleza estética de una playa, por ello la importancia de su abundancia. En la playa Audiencia se realizaron 80 muestreos durante febrero-2015 y se cuantificaron y clasificaron 1,226 ítems en 160 m² o en otras palabras, se registró una densidad de 7.66 ítems/m² en la playa. Estos desechos costeros provenían principalmente de actividades turístico-recreativas en la orilla en la playa.

La abundancia y distribución de los residuos sólidos dejó ver claramente una variación espacial y temporal. De tal forma que en la zona sur de la playa se registró la mayor abundancia; encontrándose el 35.72% del total de ítems, seguida ésta por el 31% de desechos marinos en el extremo norte de la misma. Ambos aportes contribuyeron con el 66.7% del total de los desechos costeros (Figura 3). De igual forma que se registró una variación espacial en la abundancia de residuos marinos a lo largo de la playa, también se observó una ligera variación temporal en la abundancia y se cuantificó mayor cantidad de residuos sólidos los días sábado. En los cuales se contabilizaron 643 ítems totales y durante los días miércoles se registraron 582.

Sin embargo, estudios realizados en playas de Ecuador [13], [14], publicaron 2,259 objetos totales en las playas de San Vicente y 27.07 objetos/m en la playa Valdivia, ubicada en la Provincia de Guayas, respectivamente. Coincidiendo estos autores con el origen de los residuos sólidos en esta playas (actividades turístico-recreativas en la orilla de la playa).

A pesar de que los prestadores de servicios que ofertan alimentos, renta de equipo para actividades acuáticas, servicio de hospedaje y vendedores semifijos o ambulantes se preocupan por realizar limpieza manual diaria no es suficiente para mantener la playa sin basura costera, impidiendo estos residuos cumplir con el límite máximo permisible por la norma. En este sentido, los resultados mostraron la necesidad de mejorar las condiciones de higiene en la playa y áreas aledañas a la misma. Así como, disminuir la generación de

residuos sólidos por los usuarios y comprometerlos a practicar el uso sustentable y cuidado de la playa a través de programas de educación ambiental, colocación de botes de basura y señalamientos alusivos a no dejar sus residuos y depositarlos en lugares convenientes.

La limpieza de la playa es una responsabilidad municipal. Sin embargo, esta acción no se realiza correctamente o puede que se deje a los concesionarios de las playas, caso concreto en Playa la Audiencia. En la última década, la Universidad de Colima a través de la Facultad de Ciencias Marinas ha implementado acciones a favor de la limpieza y cuidado de los ambientes costeros, llevando a cabo campañas de limpieza en playas y subacuáticas con estudiantes voluntarios, personal de empresas públicas y privadas, habitantes y visitantes de la playa porque de acuerdo con [15], [16], el inapropiado comportamiento de algunos visitantes en las playas causa el incremento en los residuos sólidos porque los tiran, olvidan o dejan de manera intencional o accidentalmente. De igual forma, se han realizado monitoreos e impartido talleres de educación ambiental alusivos al uso y cuidado de los ambientes costeros en escuelas primarias rurales y urbanas. Desafortunadamente estas acciones no ha sido de manera regular y se ha notado un pequeño avance pero insuficiente para lograr un cambio de actitud en los usuarios de esta playa.

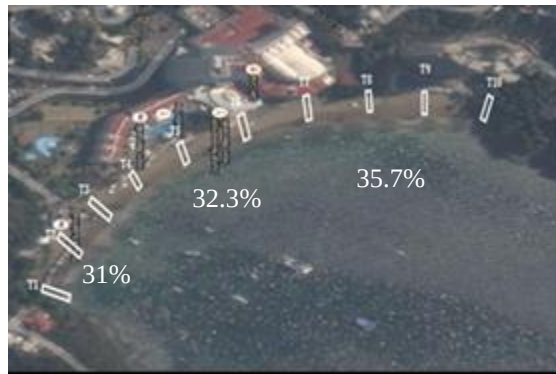


Figura 3. Distribución y abundancia relativa de residuos sólidos encontrados en la playa Audiencia, durante el periodo de Febrero-Marzo 2015

Los tres principales tipos de residuos sólidos que contribuyeron a la contaminación de la playa fueron papel/cartón, vegetación terrestre y plásticos que aportaron 268, 253 y 222 ítems respectivamente (Figura 4). Los cuales contribuyeron con el 60.57% del total de los desechos marinos. Los tipos de residuos sólidos encontrados en la playa de interés coinciden con los reportados en las playas brasileñas y europeas por [17], [18], [19]. La falta de sanitarios públicos, depósitos de basura, señalamientos donde pueden depositar sus residuos sólidos, la falta de vigilancia, reglamento de uso de playa entre otras favorecen la presencia y diversidad de basura marina o costera en la playa Audiencia.

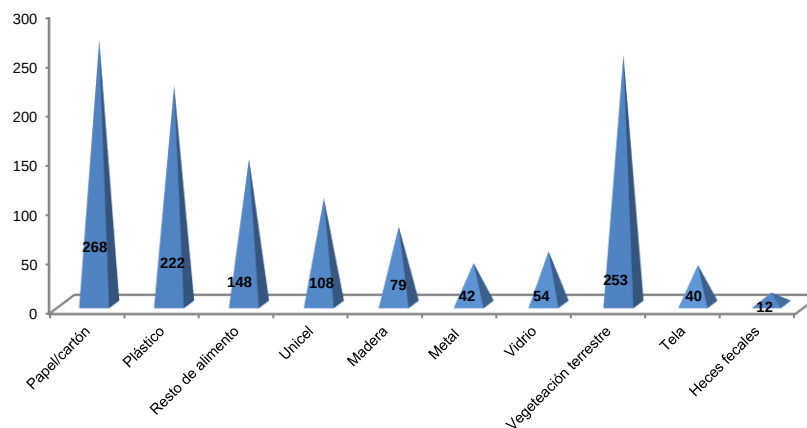


Figura 4. Tipos de objetos y su abundancia clasificados en la playa Audiencia, durante el periodo de Febrero-Marzo 2015

Cabe aclarar que dentro de la norma mexicana no se considera la vegetación terrestre como residuo sólido que afecte para la certificación de la playa. Por lo tanto, el tercer tipo de objeto más abundante para considerar en la certificación es restos de alimento que aportó 148 objetos (Figura 5).

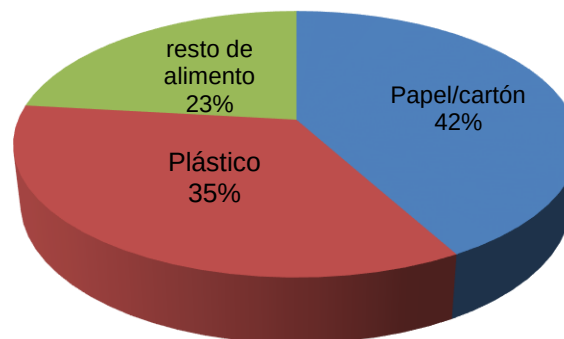


Figura 5. Abundancia relativa de los tres tipos principales de residuos sólidos en la playa Audiencia, durante el periodo de Febrero-Marzo 2015

Con base en el requisito de la norma tipo de objetos, no se registraron los del tipo riesgoso pero desafortunadamente, si se encontraron 12 heces fecales, localizándose en la zona norte cinco de ellas (transecto 1 y 2); al centro de la misma, se registró una en el transecto 4 y la mayor cantidad de heces fecales seis, se localizaron al sur en el décimo transecto. Por lo tanto, éste resultado impide la certificación de la playa, en virtud de que la ausencia de heces fecales es un requisito fundamental para la certificación.

Además, de acuerdo al requisito del límite máximo permisible de residuos sólidos en superficie en la playa (5 unidades u objetos/transecto de 100 m), los cuales no deben rebasar los 5 kg de peso, o 0,5 m³ de volumen, los resultados rebasaron por mucho este límite, siendo esto también otro elemento para no poder certificar esta playa.

4. Conclusiones

La cantidad de residuos sólidos presentes en la playa Audiencia durante el periodo evaluado, excedió ampliamente el máximo permisible; además, pedazos de vidrio y heces fecales se registraron en la playa incumpliendo con los tipos de residuos sólidos establecidos por la norma NMX-AA-120-SCFI-2006.

Si en realidad se desea certificar la playa Audiencia, es imprescindible realizar las siguientes acciones:

- 1.- Elaborar y ejecutar un plan de manejo de residuos sólidos con base en la abundancia y tipos de desechos presentes en la misma
- 2.- Establecer un programa de educación ambiental no formal donde se eduque y formen ciudadanos con responsabilidad social y ambiental para impulsar el desarrollo sustentable
- 3.- Llevar a cabo un programa de capacitación a prestadores de servicios con la finalidad de
- 4.- Realizar campañas de limpieza exhaustivas de la playa y zona adyacente
- 5.- Formalizar un monitoreo continuo de residuos sólidos

Todas ellas con la finalidad de mejorar la gestión de los desechos sólidos y minimizarlos en la playa.

5. Referencias

- [1] YEPES, V. (2004). La gestión de las playas basándose en normas de calidad y medio ambiente. *Actas del II Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Santiago de Compostela*, I, 835-846.
- [2] Botero-Botero, C., Pereira, C., Anfuso, G., Cervantes, O., Williams, A.T., Pranzini, E., Silva, C.P. (2014). Recreational parameters as an assessment tool of beach quality. *J. Coast. Res.* SI70, 556-562. <http://dx.doi.org/10.2112/SI70-094.1>
- [3] Houston, J.R. (2002). The economic value of beaches a 2002 update. *Shore&Beach*. 70, 9-12
- [4] Roca, E., and Villares, M. (2008). Public perception for evaluating beach quality in urban and semi-natural environments. *Ocean & Coastal Management*, 51, 314-329. doi:10.1016/j.ocecoaman.2007.09.001
- [5] Williams, A.T., Pond, K., Ergin, A., and Cullis, M.J. (2012). The hazards of beach litter. Finkl, Ch.W. *Coastal hazards. 1st edition*. Springer Netherlands. 810
- [6] Jang, Y.Ch., Hong, S., Lee, J., Lee, M.J., and Shim, W.J. (2014). Estimation of lost tourism revenue in Geoje Island from the 2011 marine debris pollution event in South Korea. *Marine Pollution Bulletin*.81, 49-54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.021>
- [7] Marshalla,F.E., Banksb,K.,and Cookc, G.S. (2014). Ecosystem indicators for Southeast Florida beaches. *Ecological Indicators*. 81-91. doi:10.1016/j.ecolind.2013.12.021
- [8] Yepes, V. (1999). El litoral como recurso turístico. *Universidad Politécnica de Valencia*. 5-26
- [9] Roig i Munar, F.X. 2003. Identificación de variables útiles para la clasificación y gestión de playas y calas. El caso de la Isla de Menorca (I. Balears). *Boletín de la A.G.E.* 35, 175-190
- [10] Williams, A.T. (2011). Definition and typologies of coastal tourism beach destinations. Jones, A.L. & Phillips, M.R. *Disappearing destinations: Climate change and future challenges for coastal tourism*. Wallingford, Oxford. UK:CABI. 47-66
- [11] Guimarães, F.L. and Gruber, S.D. (2013). Environmental perception of the inhabitants of São Vicente city of solid waste in Gonzaguinha Beach, São Paulo, Brazil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 13(3),379-389.
- [12] Velander, K., and Mocogni, M. (1999). Beach litter sampling strategies: is there a ‘best’ method? *Marine Pollution Bulletin*, 38:1134-1140
- [13] Medina, A. (2013). *Programa de Capacitación sobre el Problema de la Basura Marina. Modulo I*. Comisión permanente del Pacífico Sur, UNEP y FAO.
- [14] Coello, S y Macías, R. (2005). *Situación de la Basura Marina en Ecuador*. Comisión Permanente del Pacífico Sur, UNEP y FAO.

- [15] Kim, A. K., and Weiler, B. (2012). Visitor's attitudes towards responsible fossil collecting behaviour: An environmental attitude-based segmentation approach. *Tourism Management*.36, 602-612
- [16] Barbosa-da Araújo, M.A. y Ferreira-da Costa, M. (2007). Visual diagnosis of solid waste contamination of a tourist beach: Pernambuco, Brazil. *Waste Management*, 27, 833-839
- [17] Derraik, J.G.B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic solid wastes: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44:842–852.
- [18] Araújo, M.C.B., Costa, M., 2003. Lixo no ambiente marinho (Rubbish in the Marine Environment). *Ciencia Hoje*, 32, 64–67.
- [19] Araújo, M. C. B. & Costa, M. F. 2004. Qualiquantitative analysis of the solid wastes at Tamandaré Bay, Pernambuco, Brazil. *Tropical Oceanography*, 32 (2), 159-170.

Caracterización física de residuos sólidos de la colonia Comerciantes de la ciudad de Tepic, Nayarit.

¹Blanca Berenice Loera Lugo, ²Edgar Antonio Esquivel Arce, ²Claudia Estela Saldaña Duran, ²Elia Cruz Crespo, ²Sarah Ruth Messina Fernández

¹Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura, Colonia Centro Tepic, Nayarit, México, Berenice.loera@hotmail.com;

²Universidad Autónoma de Nayarit

Resumen

En la ciudad de Tepic, Nayarit surge una problemática por las grandes cantidades de residuos provocando alteraciones al medio ambiente que traen como consecuencia diversos cambios que afectan la calidad de vida del sitio de disposición final, trayendo consigo enfermedades crónicas y una gama de contaminación, ya que estos residuos no son sometidos a ningún tratado dando incremento a vertederos contaminados y por lo tanto a suelos. El objetivo de este trabajo fue realizar una caracterización física de los residuos sólidos urbanos en la colonia Comerciantes. Según el tamaño de muestra se recolectó basura durante tres días recogiendo 8 bolsas generadas por cada casa habitación por manzana tomando 29 manzanas de la colonia. Se procedió a pesar las bolsas de cada manzana, y se llevó a cabo la clasificación por materiales orgánico, e inorgánicos en los que destacaron: los residuos alimenticios, papel, cartón, plásticos varios, PET, HDPE, vidrio, metales, peligrosos, construcción y otros. Los resultados muestran que la mayor parte del contenido de las basuras de la colonia fueron residuos sólidos orgánicos. No separan sus basuras debido a la falta de conocimiento sobre el tema, por lo tanto es importante abordar temas de concientización, consumismo y separación de los residuos sólidos. Así, se podrán mostrar alternativas de aprovechamiento de los residuos llevando a cabo la separación de basura generada por los domiciliarios, un enfoque alternativo será la elaboración de composta con residuos orgánicos, para beneficio propio mediante la producción hortofrutícola, reciclado de PET, aprovechamiento productivo para jardines verticales y almácigos.

Palabras Clave: Contaminación, basura, separación, colonos.

1. Introducción

En los últimos años se ha observado el de incremento en la generación de residuos, esto es debido a factores como el crecimiento poblacional, el desarrollo urbano, cambios en los hábitos de consumo y las actividades productivas entre otros. Las alteraciones al ambiente provocadas por la cantidad de residuos generados en las grandes ciudades, traen como consecuencia diversos cambios que afectan el nivel de vida determinada zonas y desencadenan efectos que pueden resultar perniciosas para la salud humana y el ambiente[1]. En México los estudios de caracterización de residuos son pocos y se han llevado a cabo en algunas ciudades: Morelia, Guadalajara, Chihuahua y Mexicali, los análisis fueron diferentes y determinaron realidades propias de cada ciudad [2] [3].

El sistema de manejo de residuos sólidos de la mayoría de los municipios del estado de Nayarit está integrado por los subsistemas de barrido manual, recolección y disposición final. Cuenta con 22 sitios de disposición final, de los cuales, sólo tres cumplen con la NOM-083-SEMARNAT-2003, en cuanto a restricciones de ubicación, constructivas y operativa. Dichos sitios se localizan en los municipios de Bahía de Banderas, Compostela y Jala –este último, correspondiente a un relleno sanitario regional integrado por los municipios de Ahuacatlán, Ixtlán del Río y Jala. La clasificación del sitio de disposición final del municipio de Tepic es de un tiradero a cielo abierto [4]. Es por ello que en el municipio de Tepic Nayarit, México surge una preocupación por el tratado de la basura de la ciudad principalmente del tratado de los residuos sólidos urbanos ya que no sufren ningún tipo de tratamiento y se generan grandes cantidades de toneladas por día, de acuerdo a algunos datos proporcionados por la Dirección de Aseo Público, informa que se recolectan diariamente 540 toneladas de residuos en el municipio. De este monto total se separan y

se recuperan unas 14 toneladas de residuos reciclables: 10 toneladas de plástico y cuatro toneladas de cartón. Es decir, el 97.4 por ciento de los residuos municipales van directamente al entierro en el vertedero [5].

Por lo cual, este proyecto surgió con el objetivo de generar conciencia en la sociedad de Tepic al hacerlos ver la cantidad de basura que generan así mismo la contaminación e infección que produce su basura la cual pasa a manos de los pepenadores y caracterizar la basura generada en la colonia Comerciantes en el municipio de Tepic, con la finalidad de reducir los riesgos que se producen.

2. Metodología/Desarrollo

Los materiales que se utilizaron para llevar a cabo la recolección de basura y caracterización de residuos, evitando así reducir cualquier riesgo al manejarlos fueron los siguientes:

- Balanza digital (dinamómetro digital Baxtran KRN con capacidad de 10 kg., unidad de medida kg, lb y oz)
- Bolsas de polietileno
- Papelería (hoja blanca y pluma)
- Mesas
- Cubre bocas
- Guantes de látex
- Bata

La colonia comerciantes está constituida por 29 manzanas, para obtener la muestra representativa se obtuvieron 8 bolsas por manzana, una bolsa por casa habitación etiquetando cada una para calcular cuanta basura se genera por cada manzana, esto se realizó sin previo aviso a los habitantes de la colonia con la finalidad de obtener la muestra real.

Se realizó en dos jornadas de trabajo, una en día martes y otra en día sábado en horario matutino de 7:00 a 9:00 am, donde se cubrió por completo las 29 manzanas, una vez llevado a cabo la recolección se realizó la caracterización donde primero se pesó cada bolsa de casa habitación, una vez pesado todo se prosiguió con la caracterización para después volver a tomar unidad de peso de cada clasificación, para ello se adaptó de la norma NMX-AA-022-1985, cabe resaltar que esta norma solo fue una base para llevar a cabo dicha caracterización debido a que es del año 1985 no menciona una parte de la clasificación de plásticos utilizados hoy en día; una vez culminadas las tres recolecciones se procesaron los datos de los resultados obtenidos para mostrarlos a los colonos y se dieran cuenta de la generación de sus basuras.

3. Resultados

En la Tabla 1 se muestran los datos obtenidos por manzana de la primera recolección, donde se encontró que en la manzana 8 se genera más basura con un total de 19.83 kg a diferencia de la manzana 10 que tan solo se genera 4.27 kg, por lo tanto, si es una gran diferencia de lo que se genera entre las manzanas. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos por manzana de la segunda recolección realizada en día sábado, donde se percibe que la manzana 23 es la que genera más basura con un total de 66.88 kg., a diferencia de la manzana 21 que fue 5.32 kg. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en la tercera recolección de basura, en la cual se percibe la manzana 4 con 8.03 kg de basura mientras que la manzana 9 con 4.30 kg de basura, por tanto el total de basura aproximada generada por la colonia es de 342.766kg., que es realmente alto el valor para tres días de la semana que fueron estudiados.

En base a los resultados obtenidos, lo que más se genera en la colonia son residuos orgánicos con un total aproximado de 133.352 kg., mientras que lo que menos se genera es residuos peligrosos con un total de 1.51 kg., mientras que de plástico solo de genera 29.267 kg., resaltando las bolsas con un total de 9.385 kg.

En la figura 1 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización de las tres recolecciones de basura de toda la colonia, notando que los residuos que más sobresalen después de lo orgánico son los clasificados como otros con un total de 52.735 kg., en donde se incluyeron residuos sanitarios los cuales se genera un total de 24.232 kg., rastrillos, condones, ropa, pasta, excrementos de mascotas, masa y colillas de cigarro.

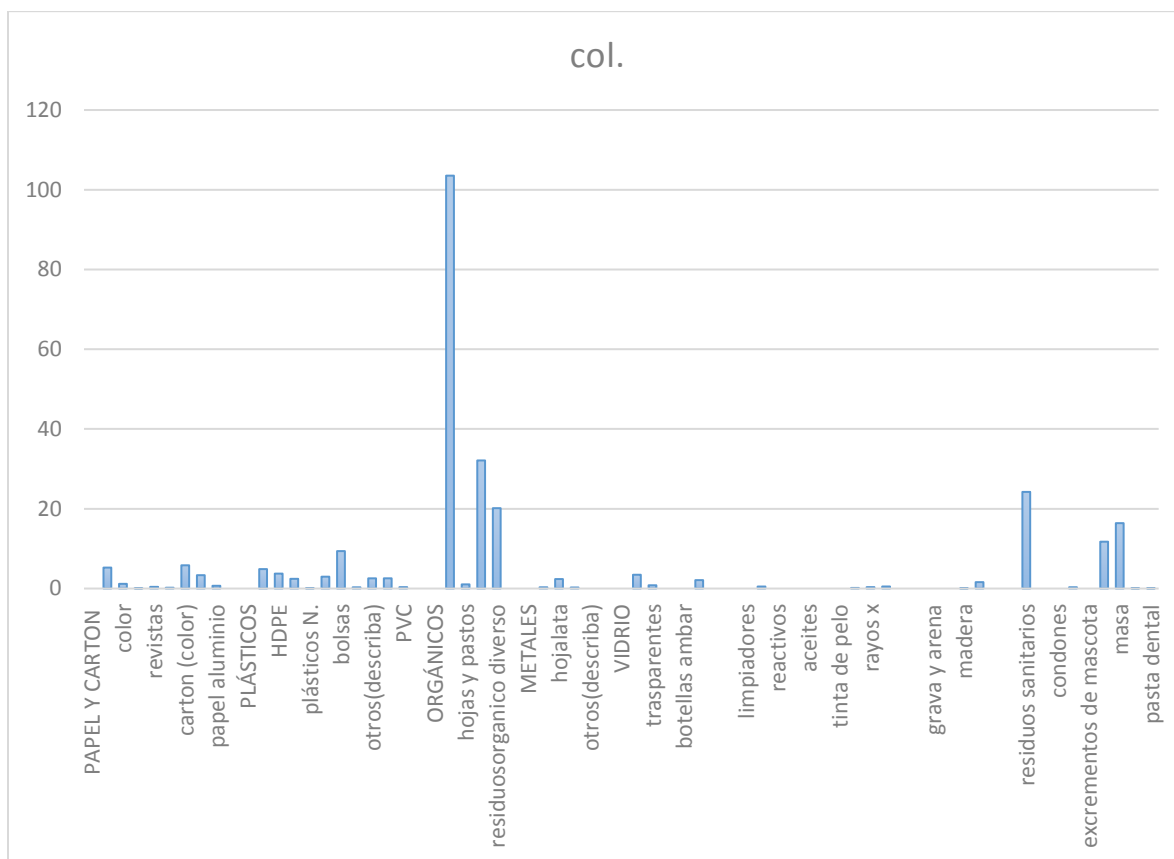


Figura1. Resultados obtenidos en la caracterización de residuos. En la parte horizontal de esta figura observamos el tipo de material que se evaluó y en la parte vertical el porcentaje en kg obtenidos.

Sin embargo comparado a todos los demás residuos generados en mencionada colonia son casi nada a lo que se le está dando un uso o aprovechamiento por lo que es de gran importancia que se implementen alternativas donde se haga participativa toda la colonia a separar los residuos, como también a que generen conciencia y sean menos consumidores porque dentro de los residuos alimenticios caracterizados había en su mayoría vegetales intactos algunos en buen estado de los cuales se pueden consumir perfectamente.

Tabla 1. Resultados de la primera recolección de basura. Explica el peso obtenido en kilogramos de cada manzana.

Manzana	2	6	8	10	12	15	19	26	27
Peso (kg)	10.91	9.40	19.83	4.27	6.72	16.55	10.99	7.23	9.37

Tabla 2. Resultados de la segunda recolección de basura. Representa el peso obtenido en kilogramos por manzana.

Manzana	1	11	16	17	18	20	21	23	24	28	29
Peso (kg)	14.2	12.9	6.44	6.04	35.95	9.48	5.32	66.88	23.31	7.98	6.54

Tabla 3. Resultados de la tercera recolección de basura. Explica el peso total de cada manzana en kilogramos.

Manzana	3	4	5	7	9	11	13	14	22
Peso (kg)	6.43	8.03	5.43	5.02	4.30	4.68	5.32	7.21	6.21

3.1 Observaciones

En este arduo trabajo que se realizó en la colonia Comerciantes se observó que en algunas casas habitación se lleva a cabo la separación de PET, mientras que en otras mezclan todo. De esta manera se clasificó como masa, debido a que no se podían identificar los materiales y llevar a cabo la separación por qué estaban muy mezclados. En dicho trabajo se obtuvo el apoyo de la Dirección de Aseo Público (DAP) para recoger los residuos una vez realizado el trabajo.

Otro caso muy notable que se observó durante la recolección de basura que a esta colonia entran varios prepepenadores de colonias vecinas, por lo que causa una gran preocupación que no se haga correctamente la separación debido a que se exponen de una manera muy riesgosa quienes se dedican a este empleo por la contaminación que lleva consigo. Por mencionar algunos ejemplos como: salmonela, hongos patógenos y huevos helmintos, que provocan enfermedades al ser humano, así como los fuertes olores desagradables.

3.2. Discusión

Comparando los resultados de caracterización de residuos sólidos urbanos de la colonia comerciantes en base a otros estudios encontrados [4], [6] y [7] se determina que lo que más se genera son residuos orgánicos, es decir el 37.56 % corresponde a materia orgánica [7]. Por lo tanto, otro estudio demuestra lo contrario [4], los resultados obtenidos en supermercados emergen que la composición orgánica es de un 40% y 60 % de inorgánicos. Otros estudios de caracterización de residuos sólidos urbanos realizados en las ciudades de Chihuahua, Guadalajara, Mexicali y Morelia indican que lo que más generan son residuos orgánicos con un porcentaje de 48.0% para Chihuahua, 54.0% en Guadalajara, 55.6% para Mexicali y 57.1% en Morelia [2] y [3].

4. Conclusiones

Se concluye en el estudio, que el alto contenido de residuos alimenticios se debe a que la mayoría de las amas de casa preparan sus alimentos durante la semana, es por ello la presencia de materia orgánica, a diferencia de PET y cartón que es menor la cantidad, debido a la mayoría de los colonos los vende o dona a los pepenadores, lo cual indica una buena acción o en su caso reciclando. Los estudios de caracterización de residuos y en este caso puntual en una colonia permitirán proponer a los colonos y a las DAP del gobierno local mecanismos de reducción y reciclaje, como el tratamiento de los residuos sólidos alimenticios. Que se consideran temas como continuación de este trabajo.

Por lo tanto, una alternativa para aprovechar lo que más se genera sería la realización de composta, para que la produzcan en sus mismas casas y generen sus propios huertos, lo cual sería de gran ayuda porque estarían

ahorrando dinero y alimentando más sanamente debido a que no estarían consumiendo productos cosechados con químicos.

También surgió como una alternativa capacitar a las personas para que aprendan a separar los residuos evitando así los focos de infección que conlleva a ello, desde impartir la información en las escuelas, debido a que ellos son nuestra fuerte para desarrollar mejores estrategias para un buen nivel de vida a futuro, ya que ellos llevan información a su casa enseñando a sus familias, también en iglesias de dos índoles presentes. Por lo tanto este trabajo deja más cosas por hacer, y como consecuente se pretende darle continuidad hasta lograr que sea una colonia sustentable, dejando la invitación a generar tesis con este tema.

2.2. Referencias

- [1] Colomer F.J. y Gallardo A. (2007). *Tratamiento de residuos sólidos*. Limusa. México, D.F, 319p.
- [2] Ojeda-Benítez S., Armijo C. y Márquez M.Y. (2008) Household solid waste characterization by family socioeconomic profile as unit of analysis. *Resour. Conserv. Recycl.* 52, 992-999.
- [3] Gómez G., Meneses M., Ballinas L. y Castells F. (2009) Seasonal characterization of municipal solid waste (MSW) in the city of Chihuahua, Mexico. *Waste Manage.* 29, 2018-2024
- [4] Norrie J., Lafortune P. y Beauchamp C.J. (1997). Characterization of waste materials originating from Quebec supermarkets and an assessment of recycling potential. *Res. Cons. Rec.* 19, 265-277.
- [5] SEMARNAT (2010). Desarrollo de elementos de análisis socioeconómico para la evaluación de los proyectos de ramo 16, en materia de residuos sólidos.
- [6] SALDAÑA, D. C. Diagnóstico de la generación de los residuos sólidos doméstico de la localidad de Tepic. Tesis de maestría inédita. Universidad Autónoma de Nayarit, 2003.
- [7] Hernández Rosales, I P; Saldaña Durán, C E; Messina Fernández, S; Pérez Pimienta, J A; (2013). Caracterización física de los residuos sólidos urbanos y el valor agregado de los materiales recuperables en el vertedero El Iztete, De Tepic-Nayarit, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29() 25-32.

Separación y caracterización de micro-plásticos en playas mexicanas

María Elena Sánchez-García, Norma Cristina Rangel-Alvarez, Margarita Beltrán-Villavicencio, Alethia Vázquez-Morillas, Juan Carlos Alvarez-Zeferino

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, Ciudad de México. Tel: 0455517494632. E-mail: al210329270@alumnos.azc.uam.mx.

Resumen

Los plásticos son un material relevante en la sociedad actual, en el mercado mundial se consumen millones de toneladas al año. Una proporción significativa se convierte en residuos, los cuales van a parar en su mejor caso a los tiraderos de basura o rellenos, ya que otros acaban en los ríos, lagos, océanos y playas. En el presente trabajo se colectaron y clasificaron plásticos encontrados en dos playas mexicanas (Playa azul en Michoacán y Copalita en Oaxaca), para evaluar la presencia de micro-plásticos y clasificarlos. Lo que hace tan peculiares a estos residuos plásticos es su tamaño ya que al ser pequeños no se pueden separar tan fácilmente del lugar donde son depositados. Para ayudar a su separación se realizaron pruebas de flotación con soluciones de diferentes densidades basándose en la densidad de cada uno de los tipos de plástico ya conocidos (PET, PVC, PBD, PAD, PP y PS), con ello se preparó una solución en la cual todos los micro-plásticos encontrados pudiesen flotar y de esta manera se realizó su separación mediante una red para peces. Los resultados obtenidos mostraron que la ocurrencia de micro-plásticos en ambas playas fue similar, siendo los de textura rígida los más abundantes, los tamaños encontrados estuvieron en el intervalo de 1 hasta 30 mm. Los colores predominantes que presentaban son principalmente rojos, azules y blancos que en general son colores muy brillantes. Este estudio permitió definir metodologías para un análisis más profundo de la presencia y efectos de los micro-plásticos en playas nacionales.

Palabras clave: *Residuos plásticos, impacto ambiental, biopelícula, flotación, densidad.*

Introducción

El término micro-plástico fue introducido por el investigador británico Richard Thompson en el año 2004 y es usado para referenciar plásticos con tamaños menores a 5mm [1]. Los micro-plásticos pueden llegar a los ambientes marinos directamente por fugas en procesos de la industria, como son los llamados pellets o bien como resultado de la fragmentación de artículos más elaborados como son botellas de plástico, envolturas, empaques de pasta dental, cosméticos, entre otros [2].

Los micro-plásticos son un problema antropogénico en los océanos ya que por medio de las corrientes marinas se transportan de un lugar a otro; algunos son depositados en las playas, mientras que otros siguen viajando, finalmente existen aquellos que llegan a poblar el fondo marino debido a que su densidad se ve alterada por la formación de biopelícula. En un artículo publicado por la Universidad de Plymouth y el Museo de la Historia Natural en Londres, se reporta que en un kilómetro cuadrado de sedimentos marinos pueden encontrarse alrededor de 4,000 millones de micro-plásticos [3].

El consumo de plásticos hoy en día ha aumentado, por lo que el investigador Richard Thompson sugiere que existe también una alta probabilidad en el aumento en micro-plásticos [1]. Estos impactan en la dieta de aves, peces, mamíferos y al final esta contaminación puede retornar al ser humano[4].

El presente trabajo tuvo como objetivo separar y clasificar distintos micro-plásticos contenidos en la arena de dos playas.

Metodología

Los estudios fueron realizados en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, en el Laboratorio de Tecnologías Sustentables ubicado en la planta baja del edificio W.

Muestreo

Los muestreos se llevaron a cabo en dos diferentes playas del país, las cuales fueron Playa Azul ubicada en el estado de Michoacán y Copalita en Oaxaca. El muestreo se llevó a cabo sobre la línea de alta marea y se recorrió una distancia de 100 m. Ambos muestreos fueron llevados a las 6:00 de la mañana con la finalidad de evitar la alteración por parte de las actividades humanas.

Clasificaciones

Se desarrollaron dos clasificaciones las cuales pretenden facilitar la identificación de los restos plásticos en trabajo de campo: por su morfología y por densidad (figura 1).



Figura 1. Clasificación de los micro-plásticos: (a) de acuerdo a su morfología; (b) por flotación

Clasificación de acuerdo a su morfología

Esta clasificación se basó en la forma que presenta los micro-plásticos dividiéndose en cuatro grupos: rígidos, película, flexible y espuma [5].

Rígidos: tienen una textura dura, ya que al aplicar una fuerza se fragmentan con facilidad, presentan colores opacos en la gama de rojo, azul, amarillo y verde.

Película: son capas finas de plástico con un grosor no mayor a 3mm, se caracterizan por tener una cara de color brillante y otra de un color blanco o plata, presentan colores muy brillantes e incluso metalizados encontrándose en la gama de rojo, azul, morado y verde.

Flexible: tienen una textura elástica por lo cual al aplicar una fuerza estos no se fracturan al instante, es decir, surge un agrietamiento previo a la fractura, presentan los mismos colores que los plásticos rígidos, pero a diferencia.

Espuma: es una capa plástica con un grosor mayor a 3mm, aunque puede encontrarse en forma de pequeñas esferas, presentan al blanco o el traslucido como colores predominantes, en ocasiones se encuentran acompañados por rojos y azules.

Clasificación por densidades

Para la identificación de los micro-plásticos se tomó como referencia la tabla 1.

Tabla 1. Densidad de plástico [2]

Categorías o clases	Aplicaciones comunes	Densidad específica
Polietileno (PE)	Bolsas de plástico, anillos de six-pack de cerveza	0.91 – 0.94
Polipropileno (PP)	Soga, tapas de botella	0.90 – 0.92
Agua de mar		~ 1.02
Poliestireno (PS)	Utensilios, embalaje	1.04 – 1.09
Policloruro de vinilo (PVC)	Bolsas, tubos	1.16 – 1.30
Polietilentereftalato (PET)	Botellas	1.34 – 1.39

Para realizar las pruebas de flotabilidad se obtuvieron en el laboratorio las densidades enunciadas mediante la preparación de las soluciones que se presentan en la tabla 2.

Tabla 0. Soluciones empleadas para la separación de micro-plásticos

Volumen (ml)	Masa (g)	Sustancias requeridas	Densidad (g/ml)
50	72.6993	39.9949g de NaI, se aforó con agua destilada	1.604626
25	25.0029	Agua potable	1.000116
25	23.1258	50%agua, 50% alcohol etílico	0.925032
25	22.5785	40%agua, 60% alcohol etílico	0.90314

Se tomó una muestra de 18 micro-plásticos con diferentes texturas, así mismo esta muestra se agregó a un vaso de precipitado el cual contenía una solución con densidad de 1.000116 g/ml (agua potable), separando los plásticos que flotaron y los que no flotaron, ambas separaciones se dejaron secar.

Los plásticos flotantes nuevamente se adicionaron a un vaso de precipitado que en este caso se tenía una densidad de 0.90314 g/ml y de esta manera también se realizó una separación de los que flotaron y de los que no flotaron, enseguida se apartaron para que ambas divisiones pudieran secarse. Finalmente se realizó una recopilación de toda la muestra la cual se introdujo dentro de un vaso de precipitado que contenía una solución de NaI con densidad de 1.604626 g/ml.

Tamaño y masa de las muestras plásticas

Para llevarse a cabo la medición de longitudes de los micro-plásticos, en una hoja de papel milimétrico se dibujaron cuadrados de 1 hasta 30 mm, esto con el fin de tener una mejor precisión, ya que éstos generalmente presentan una forma irregular. Enseguida se obtuvo la masa de cada uno, por medio de una balanza analítica, y con ello se hizo el conteo correspondiente de cada una de las clasificaciones (rígidos, película, espuma y flexibles), para que se realizara una comparación de cuales fueron los micro-plásticos más abundantes en ambas playas.

Resultados

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en cada una de las clasificaciones, así como las longitudes y masas promedio de los micro-plásticos.

Clasificación de acuerdo a su morfología

Con base en esta clasificación se realizó un recuento de los micro-plásticos encontrados en cada una de las playas, descubriendo que los plásticos predominantes en ambas muestras son los llamados rígidos y con menor presencia los denominados película, como se observa en la tabla 3:

Tabla 0. Clasificación de micro-plásticos por morfología

Morfología	Número de microplásticos	
	Playa azul	Playa Copalita
Rígidos	120	148
Película	11	17
Flexibles	28	27
Espuma	21	30

Clasificación por densidades

En la muestra de 18 micro-plásticos que fueron agregados en la solución de agua potable, 16 de los 18 fragmentos plásticos introducidos flotaron, generando así la primera división, los plásticos que se hundieron se clasificaron como PET y PVC. Los 16 fragmentos plásticos que flotaron fueron adicionados a la solución 50% agua potable, 50% alcohol etílico, en el cual flotaron 7 fragmentos y el restante se hundió, los fragmentos flotantes se clasificaron como polipropileno y los que se hundieron como polietileno. En la solución de 39.9949g de NaI, agua destilada, todos los micro-plásticos flotaron sin excepción alguna.

Tamaño y masa de las muestras plásticas

En la figura 2 se muestran las longitudes obtenidas en cada una de las clasificaciones:

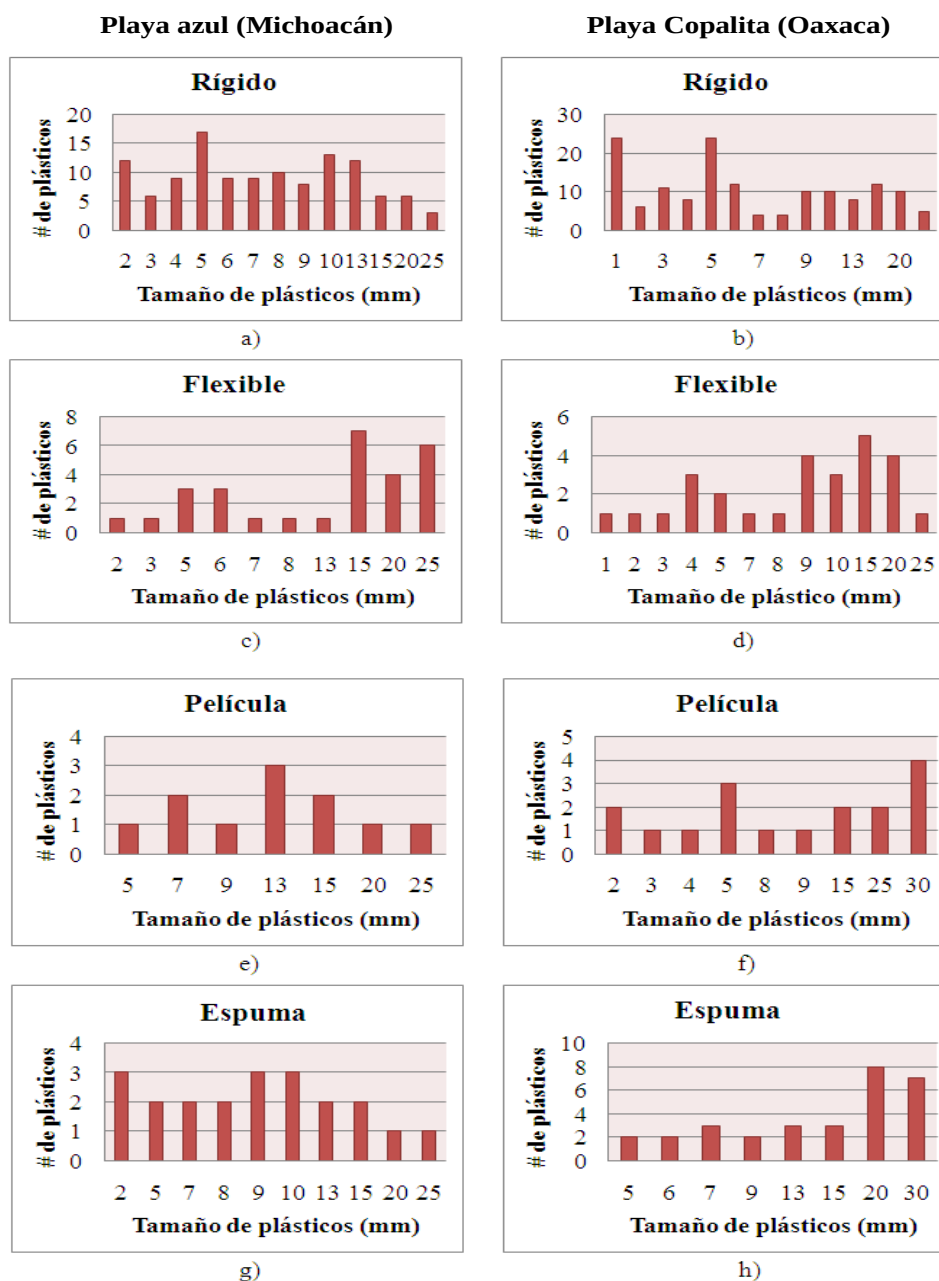


Figura 2. Abundancia y tamaños de los micro-plásticos con base en su morfología y tamaño.

En la figura 2 (a) y (b) se muestra la existencia de micro-plásticos con textura rígida presentando una mayor cantidad entre los tamaños de 1 y 5 mm, mientras que en (c) y (d) con textura flexible los más abundantes son aquellos que tienen longitudes de 15 mm. En cuanto a película puede notarse que las longitudes con mayor afluencia no coinciden, ya que en Playa Azul tienen mayor abundancia los de 13 mm, y en Playa Copalita (f) los de 30 mm. También puede encontrarse otra diferencia en los denominados espuma, puesto que en Playa Azul (g) hay una mayor poción de 3, 9 y 10 mm de longitud, y en Playa Copalita (h) se presentan en longitudes de 20 mm.

En la figura 3 se presentan los resultados de la masa promedio de cada una de las clasificaciones:

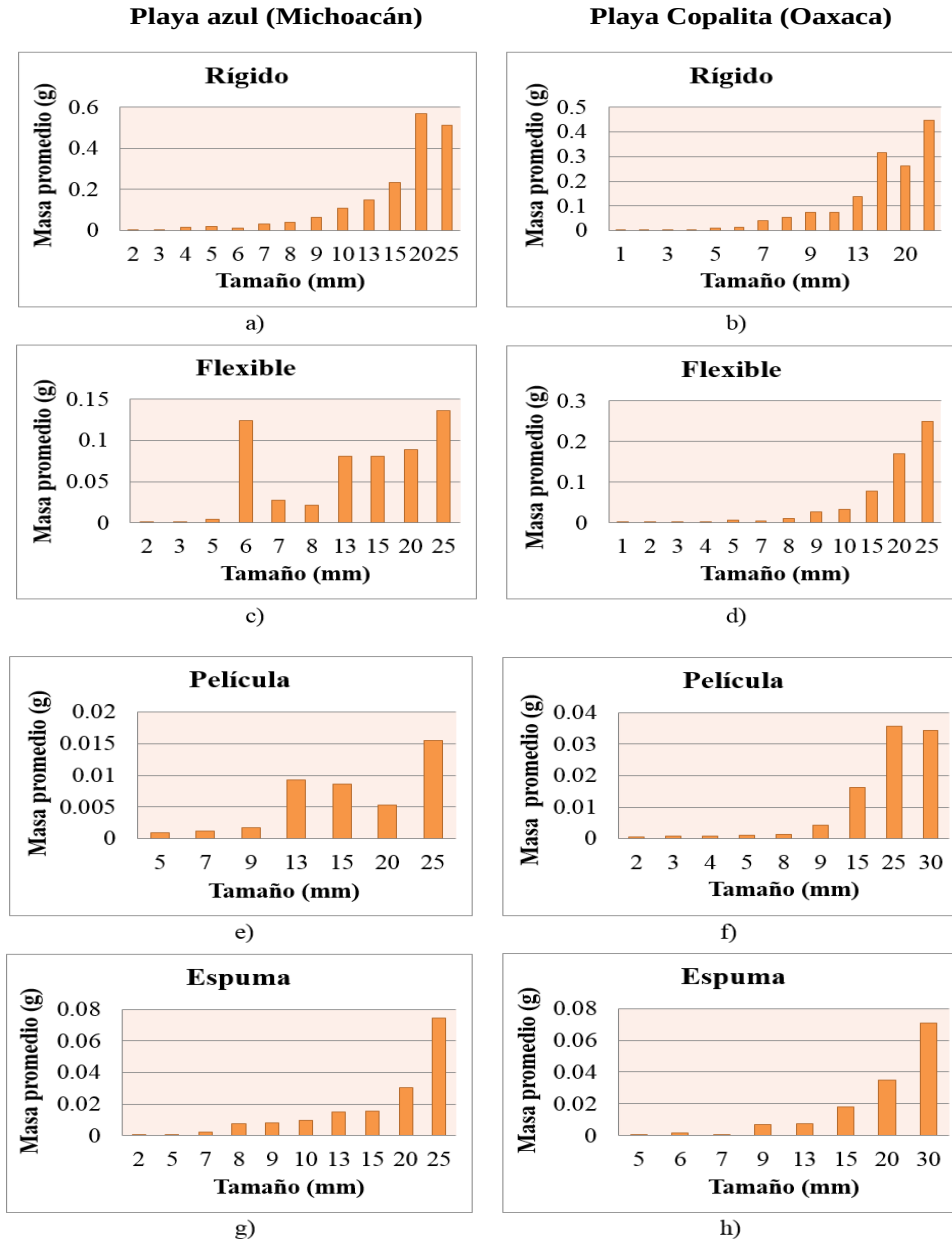


Figura 0. Masa promedio y tamaño de los micro-plásticos con base en su morfología.

En la figura 3 (a, d, f, g y h) se presenta una tendencia exponencial con lo que se asume que existe una proporción que a mayor tamaño mayor masa. Sin embargo hay una caída de masa en los micro-plásticos de 20 mm (b y e), esto se atribuye a la existencia de una mayor degradación en los mismos. En la figura (c) de igual forma se puede observar una caída de masa pero esta se presenta en los tamaños de 7 y 8 mm.

Conclusiones

Las formas irregulares que presentaban todos los micro-plásticos, permiten concluir que el origen de éstos se debe a actividades antropogénicas, en donde artículos de plástico son intemperizados y posteriormente son fragmentados.

La técnica de flotación para la separación de los micro-plásticos encontrados en arena, es factible para ser utilizada en estudios relacionados con éstos materiales, sin embargo, se encontró que la biopelícula puede llegar a ser un factor que impida una separación adecuada. La formación de biopelícula en los micro-plásticos altera su densidad, debido a que está compuesta de organismos los cuales la colonizan y por ende aumentan su masa, lo cual podría provocar que este tipo de materiales se hundan y lleguen al lecho marino.

La ocurrencia de micro-plásticos en ambas playas fue similar. Se encontró que los plásticos rígidos tuvieron la mayor ocurrencia, los cuales podrían ser dañinos para las especies marinas quienes los pueden ingerir y como consecuencia provocarles lesiones superficiales o internas tales como cortes y laceraciones.

El estudio de micro-plásticos en ecosistemas costeros es relevante debido a su alta abundancia y fácil dispersión, lo que implica una alta posibilidad de ingreso en la cadena trófica, además los datos generados permiten concientizar a la sociedad con respecto a esta problemática.

Referencias

- [1] NOAA Marine Debris Program, (2015) “Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment,” [En línea]. Disponible en: https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/noaa_microplastics_methods_manual.pdf. [Acceso: 03/05/2016].
- [2] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, (2013) “Microplásticos,”. [En línea]. Disponible en: http://www.unep.org/yearbook/2013/pdf/Microplastic_spanish.pdf. [Accessed: 09/05/2016].
- [3] Sánchez Vidal, A. y Thompson, R.,(2015)“Concentración de microplásticos en el fondo del mar, un problema medioambiental | Siempre!” [En línea]. Available: <http://www.siempre.com.mx/2015/01/concentracion-de-microplasticos-en-el-fondo-del-mar-un-problema-medioambiental/>. [Acceso: 20/05/2016].
- [4] A. L. Andrady, (2011) “Microplastics in the marine environment.,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 62, no. 8, pp. 1596–605.
- [5] Hidalgo Ruz, V. Gutow, L. Thompson, R.C. y Thiel, M., (2012) “Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification,” *Environ. Sci. Technol.*, [En línea]. Disponible en: http://jc8ts2fl2c.search.serialssolutions.com/?ctx_ver=Z39.88-2004&ctx_enc=info:ofi/enc:UTF-8&rft_id=info:sid/summon.serialssolutions.com&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal&rft.genre=article&rft.atitle=Microplastics+in+the+Marine+Environment%3. [Accessed: 20/04/2016].

Estudio de generación y composición de residuos sólidos urbanos en una institución de educación superior

¹Omar Jesús Rosas Gutiérrez, ¹Gloria I. González-López*, ¹Elena Rustrián Portilla, ¹Abigail Zamora Hernández, ²Alethia Vázquez Morillas, ¹Eric Pascal Houbbron

¹Laboratorio de Gestión y Control Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Prol. Oriente 6 N° 1009, Col. Rafael Alvarado. Orizaba, Ver. C.P. 94340. México. Tel. 01-22-88-42-17-00 ext. 33303, *gllopez@uv.mx. ²Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Energía.

Resumen.

Las instituciones educativas constituyen importantes espacios para contribuir en la formación de una cultura ambiental en los estudiantes. La Universidad Veracruzana, ha incorporado la temática ambiental, a través de su Plan Maestro para la Sustentabilidad, que tiene como objetivo aplicar las políticas académicas y administrativas que procedan de acuerdo con la normatividad vigente, a fin de poner en marcha el sistema de manejo ambiental, así como fortalecer la dimensión ambiental de la sustentabilidad en sus funciones sustantivas de docencia, investigación y vinculación. En este trabajo se presentan los resultados de los estudios de generación y composición de residuos sólidos urbanos, generados en tres entidades académicas de la Universidad Veracruzana, región Orizaba-Córdoba. Se determinó el índice Per cápita de residuos diarios generados por facultad, que van desde 19 g/estudiante día hasta 34. Respecto a la composición de los residuos sólidos, en las tres entidades el residuo más generado es el alimenticio y en la Facultad de Arquitectura el papel y cartón; lo cual indica que cada facultad se comporta de manera diferente y que cada una requiere una gestión de residuos de acuerdo al tipo y cantidad que genera.

Palabras Clave: *Generación, Gestión integral, Residuos Sólidos Urbanos, Universidad Veracruzana.*

1. Introducción.

La protección eficaz del ambiente requiere de la prevención de la contaminación a través de la conjugación de materiales, procesos o prácticas que minimicen la generación de residuos sólidos urbanos (RSU). El manejo de los RSU y su separación involucra las actividades relacionadas con su manejo, desde que se generan hasta que se colocan en el almacenamiento temporal, en contenedores para la recolección. La separación de los componentes de los desechos es un paso importante en el manejo y almacenamiento [1].

La problemática que enfrenta México en materia de residuos sólidos representa un riesgo para el desarrollo urbano y social debido a que pueden generar conflictos entre la sociedad y los gobiernos al carecer de la capacidad del manejo de los residuos. Es decir, el mal manejo de los residuos sólidos margina la calidad de vida de los habitantes de una comunidad, además de traer efectos nocivos en el ecosistema [6].

Según el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos [3] elaborado por la SEMARNAT, la generación de RSU ha variado significativamente durante las últimas décadas; se estima que en 2015 se generaron 117,500 toneladas de residuos al día a nivel nacional, lo que corresponde a 1.010 kg/habitante día.

En la construcción de una perspectiva ambiental de desarrollo es de suma importancia la participación de todos los sectores e instituciones sociales, particularmente de las Instituciones de Educación Superior (IES), cuya participación es relevante, pues se espera que en el proceso de formulación y ejecución de los planes de manejo de los residuos que generan dentro de sus instalaciones, involucren a los estudiantes como parte del proceso de enseñanza-aprendizaje.

2. Metodología para el estudio de generación y composición de los RSU.

Este procedimiento es una propuesta metodológica para determinar la generación y composición de los RSU dentro de entidades académicas de la UV, con la finalidad de estandarizar una metodología que pueda ser aplicable en distintas entidades. Se debe organizar un grupo de trabajo que puede estar conformado por alumnos, que se encuentren haciendo servicio social en su facultad ó que participen como voluntarios.

Antes de iniciar el estudio se debe solicitar la autorización del director, el visto bueno del administrador y la colaboración del personal de intendencia. Se pide que la recolección de la basura esté a cargo del grupo de trabajo previamente organizado durante los días que dure el estudio, para con esto recuperar los residuos que se generan en la facultad en el transcurso de 24 h, como se indica en la Norma Mexicana NMX-061-AA-1985 [5], la cual especifica un método para determinar la generación de RSU. Se debe explicar clara y ampliamente al personal de intendencia el motivo y dinámica del estudio, así como la duración del mismo, con el fin de evitar problemas laborales. Lo anterior porque el equipo de trabajo tomará, el papel que desempeñan los encargados de recolectar la basura en las diferentes fuentes los días que dure el estudio.

Un dato adicional a considerar es identificar los días del servicio de recolección municipal, de la entidad académica en la que se realice el estudio, con el fin de evitar que los RSU se acumulen y provoquen un aspecto desagradable en la entidad. Una recomendación importante es que se debe llevar a cabo en semanas de actividad normal, esto con el fin de que el estudio no se altere en su composición por agentes externos, los cuales pueden ser eventos extraordinarios que se realicen en la entidad (periodos intersemestrales, exámenes, acreditaciones, eventos culturales, etc.) para que esto refleje la generación promedio de los RSU.

En esta metodología se excluyen los residuos peligrosos ya que cuentan con una gestión institucional y los residuos de sanitarios los cuales se deben recolectar y enviar al servicio de recolección municipal.

2.1. Material y equipo.

Por seguridad, se debe contar con equipo de protección personal para las personas que realicen el estudio, el cual consta de guantes y cubre bocas. Es indispensable tener bolsas de diferentes tamaños para la recolección y una báscula. Es de suma importancia disponer de un área techada de 4m x 4m, así como también de una lona para la separación y cuantificación de subproductos: esto evitará que la basura que se encuentre húmeda ensucie el área de trabajo, genere malos olores ó provoque un aspecto desagradable.

2.2. Localización de fuentes de generación.

Es necesario identificar todos los sitios de generación, para esto se debe realizar recorridos en las instalaciones de la entidad, con el objetivo de observar las actividades propias de cada lugar y ubicar los contenedores. Es recomendable marcar en un plano los puntos de generación, por lo que se requiere de un mapa del sitio, que debe solicitarse al personal administrativo.

2.3. Recolección y cuantificación de los RSU.

La NMX-061-AA-1985 [5] recomienda que el periodo de muestreo se lleve a cabo por ocho días. En el caso de las entidades académicas seleccionadas solo se trabaja cinco días a la semana, por este motivo el estudio se adaptó a cada entidad. El primer día es considerado de limpieza, debido a que se desechan sin pesar todos los residuos para eliminar los que se hayan podido acumular. A partir del segundo día se estará seguro de contabilizar solo la generación de basura de las 24 h anteriores. Se deben tomar en cuenta los horarios de actividades de la entidad donde se realizará el estudio, para determinar si la recolección de las muestras será en uno o dos turnos. Posterior al día de limpieza, se deben etiquetar las bolsas para cada fuente junto a la de su muestra; dicha muestra es para realizar la separación de los subproductos, la cual se describe en el apartado 2.4. El tamaño de la muestra de cada fuente dependerá de la cantidad de residuos que genere. Al

final de la recolección se pesarán las bolsas de cada fuente junto con sus bolsas de muestra y sus datos serán anotados en una bitácora, la cual es obligatoria pues es indebido anotar en hojas sueltas los datos del estudio.

2.4. Separación de subproductos y pesaje.

Deberá considerarse lo que establece la Norma Mexicana NMX-022-AA-1985 [4], referente a la selección y método para la cuantificación de subproductos contenidos en los RSU. Para la cuantificación de subproductos y toma de muestras, si el peso de la fuente es manejable, se separará toda la basura; en caso de que no, se aplicará criterio para establecer el tamaño de la muestra, en el cual se deberá considerar un porcentaje representativo del peso de la fuente. Las bolsas de las muestras de cada fuente se colocarán en una lona para separar los subproductos (por separado de cada fuente). Una vez ya clasificados, se pesarán por separado y se anotarán los datos en la bitácora. Es importante corroborar que el peso total de los subproductos coincida, o sea muy cercano al peso total de la muestra; en caso contrario, se debe repetir el procedimiento. Es recomendable efectuar la determinación en un lugar cerrado y bajo techo.

3. Resultados.

Se seleccionaron tres facultades de la Universidad Veracruzana de la región Orizaba-Córdoba: la Facultad de Ciencias Químicas (FCQ), la Facultad de Arquitectura (FA) y la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (FCBA). Los criterios que se tomaron en consideración para la selección del estudio fueron los siguientes: entidades académicas que estén en una misma región, que cuenten con distintas carreras, que los directivos acepten realizar el estudio, que sean entidades representativas de la región, y por último, que su población estudiantil sea distinta.

La FCQ cuenta con una población estudiantil de 1,400 alumnos; la Facultad de Arquitectura con 534 alumnos y la FCBA con 750. Debido a las actividades de la FCQ, se seleccionaron tres días para realizar el estudio; para las demás facultades el estudio se realizó durante cuatro días, y se recolectaron los residuos generados en los dos turnos (matutino y vespertino). Cabe mencionar que en los días en los de trabajo, no existió ningún evento o suceso que haya podido alterar la generación de los RSU.

3.1 Localización de fuentes.

Para identificar plenamente las fuentes de generación de residuos, se solicitó un mapa de cada facultad para ubicar los puntos de generación (Ver tabla 1). Se realizaron recorridos en todas las instalaciones de las facultades; la recolección se dividió en dos turnos (matutino y vespertino).

Tabla 1. Fuentes de RSU en cada entidad académica.

FCQ	FA	FCBA
Botes	Almacén	Almacén
Cafetería	Aulas	Cafetería
Laboratorios	Biblioteca	Cubículos
Oficinas	Centro de Cómputo	Laboratorios
Otros (biblioteca, almacén, archivo, torre)	Oficinas	Oficinas
	Pasillos	Otros (Centro de cómputo, Biblioteca, Herbario)
Salones	Talleres	Pasillos
		Salones

3.2 Generación de RSU en las facultades.

Después de identificar las fuentes de residuos, se recolectó la generación de tres días en la FCQ, debido a las actividades propias de la entidad; la recolección se llevó a cabo del 29 de septiembre al 1 de octubre del

2015. En la FA y en la FCBA, la recolección se realizó por cinco días, del 4 al 8 de abril del 2016 y del 11 al 15 de abril, respectivamente.

El primer día, tal como lo recomienda la NMX-061-AA-1985 [5], se consideró como día de limpieza, debido a que se desechan todos los residuos que se hayan podido acumular; estos fueron retirados para asegurar que solo se pesara la generación del día siguiente. Los días posteriores se pesaron las bolsas para cada fuente y las de su muestra. En la tabla 2 se presenta el peso promedio de cada fuente por facultad.

Tabla 2. Generación y promedio de aportación por entidad educativa.

FCQ			FA			FCBA		
Fuente	Promedio (kg)	%	Fuente	Promedio (kg)	%	Fuente	Promedio (kg)	%
Cafetería	11	23	Almacén	0.1	1	Almacén	2.6	15
Laboratorios	13	27	Aulas	1.4	13	Cafetería	1.3	8
Oficinas	3	7	Biblioteca	0.2	2	Cubículos	2.3	13
Otros (biblioteca, almacén, archivo, torre)	1	2	Centro de Cómputo	0.3	3	Laboratorios	4.1	23
Pasillos	12	25	Oficinas	0.9	8	Oficinas	0.3	2
Salones	7	16	Pasillos	5.3	51	Otros (Centro de cómputo, Biblioteca, Herbario)	0.6	3
			Talleres	2.2	22	Pasillos	4.6	27
						Salones	1.6	9
Total	47	100	Total	10.4	100	Total	17.4	100

Se puede observar que varias fuentes de generación coinciden, pero su aportación es distinta para cada facultad, además la generación aproximada de cada facultad es diferente. Por ejemplo, la FCQ genera aproximadamente 47 kg diarios, en contraste con la FA donde su generación diaria es de 10 kg, esto principalmente se debe al número de alumnos y personal que usa sus instalaciones y a las actividades propias de cada facultad. Las fuentes de mayor generación en la FCQ y la FCBA corresponden a los laboratorios y los pasillos.

Con estos resultados se determinó el indicador per cápita de residuos diarios generados por facultad. La FCQ cuenta con una población estudiantil de 1,400 alumnos y el estimado de generación de residuos diarios es de 47 kg, por lo que su generación de residuos es de 34 g/estudiante día. La FA con 534 alumnos, ostenta una generación diaria de 10 kg, y el per cápita es de 19 g/estudiante día. En la FCBA con una población estudiantil de 750 alumnos y 17 kg de RSU/d, el per cápita es de 23 g/estudiante día.

3.3 Separación y pesaje de subproductos en las facultades.

Una vez realizado el pesaje de las fuentes, se procedió a realizar la cuantificación de subproductos en cinco fuentes para la FCQ, seis para la FA y siete para la FCBA. Es de suma importancia mencionar que, para el caso de la FCQ, se tomó una muestra representativa por fuente del 20%, debido a la gran cantidad de residuos generados al día, exceptuándola cafetería y las oficinas, donde es menor y en donde sí se cuantificó toda la generación; en las otras dos Facultades se cuantificó el total de los residuos recolectados.

Se separaron los residuos de cada fuente muestreada (Figura 1), como lo recomienda la NMX-022-AA-1985 [4]. Los residuos se segregaron conforme al tipo de material que lo constituye, por ejemplo: cartón, tipos de papel y plástico, etc., posteriormente se pesó cada uno de los grupos.



Figura. 1. Separación de las muestras por fuente y pesaje del subproducto

Se agruparon algunos residuos como los plásticos, entre los que se encuentran los flexibles, rígidos y envases de yogurt; también se agrupó el papel y cartón; por último el grupo de varios corresponde a los residuos que se generan en mínimas cantidades y de los cuales no se registra su peso en la báscula.

Con los resultados obtenidos de la cuantificación de subproductos, se agruparon todos los datos (Tabla 3). En el caso de la FCQ, se excluyeron los valores de las oficinas debido a que se consideró la aportación total de la fuente y esto dificulta que se pueda promediar los datos de todas las fuentes. Para el caso de la FA se excluyeron los datos de la biblioteca y centro de cómputo, y para la FCBA se excluyeron los datos de las oficinas por los motivos antes mencionados. Los principales residuos generados en las diferentes facultades se muestran en las Figuras 2 a 4.

Tabla 3. Tipos de RSU generados y su porcentaje de aportación por facultad.

Tipo de Residuo	FCQ (%)	FA (%)	FCBA (%)
Aluminio	0.4	2.9	1
Papel y Cartón	12	27.4	8
PET	6	12.1	11
Plástico	15	9.3	11
Residuos alimenticios	19	13.9	21
Servilletas	14	10.7	11
Tetra pack	1	0.6	0
Unicel	0.6	0.0	2
Varios (No reciclables)	16	15.0	22
Vidrio	16	8.1	9

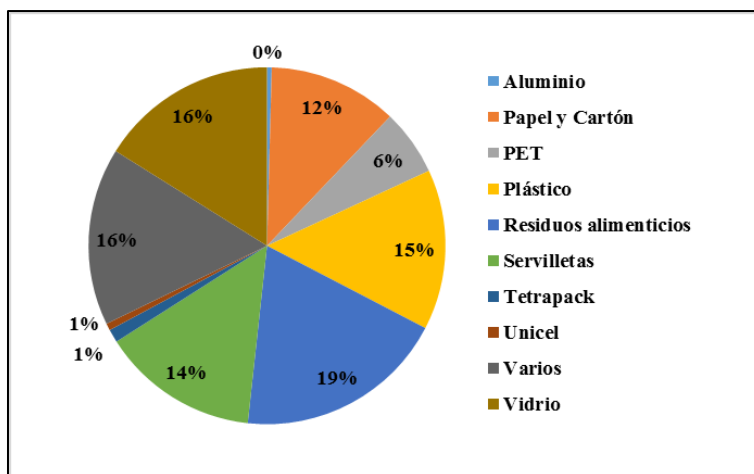


Figura. 2.Composición de los RSUy aportación en la FCQ.

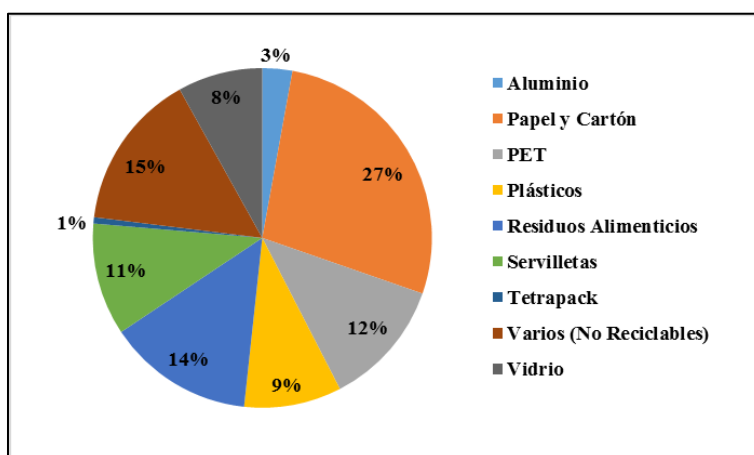


Figura. 3.Composición de los RSU y aportación en la FA.

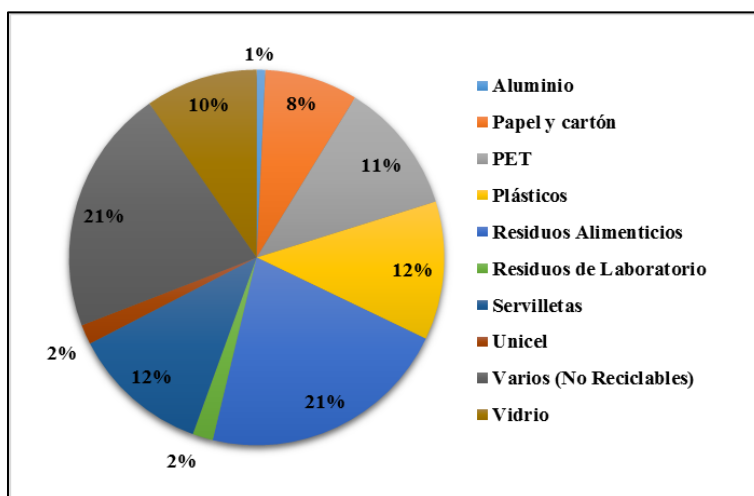


Figura. 4. Composición de los RSU y aportación en la FCBA.

Se puede observar que cada facultad tiene características particulares, lo que impide hacer un promedio de los residuos generados, que permita la estandarización de la gestión de residuos. Esto indica que cada facultad debe de llevar su propia gestión de RSU, de acuerdo a las características particulares de su basura.

A nivel internacional se han llevado a cabo diversos estudios sobre la generación y el reciclaje de residuos sólidos por universidades de todo el mundo; se han propuesto distintos programas de gestión integral de RSU dentro de las IES y en la mayoría de los casos, la principal estrategia es la reducción.

Smyth et al., (2010) [7], informa sobre un estudio de caracterización de los residuos, que se llevó a cabo en el campus Prince George de la Universidad de Columbia Británica del Norte (UNBC), en Canadá. El objetivo del estudio fue determinar la cantidad y composición de los residuos que se generan dentro de las áreas clave de operación del campus, y proporcionar recomendaciones a la administración universitaria sobre estrategias para la minimización de residuos, mayores niveles de reciclaje y compostaje, así como la mejora global del programa de gestión de residuos del campus.

En México también se han reportado experiencias en IES, las cuales van desde estudios de generación hasta el diseño e implementación de programas de gestión de RSU dentro de diferentes universidades. Recientemente diferentes universidades se han sumado a la implementación de programas para la gestión de residuos generados dentro de sus instalaciones.

Un estudio de generación y composición de los residuos generados en las IES, se considera crucial para el desarrollo de sistemas diseñados para reciclar y recuperar materiales reutilizables. De ahí la importancia de determinar las cantidades de residuos generados diariamente en cada facultad. En todas se identificaron las fuentes de mayor generación de residuos, se observó que existen varias fuentes que coinciden en especial en el caso de la FCQ y la FCBA pero su aportación es distinta para cada facultad. Esto se debe a varios factores entre los que más resaltan son la generación diaria de residuos y el número de alumnos. Con estos datos se pudo determinar indicador per cápita por alumno en las diferentes facultades donde se realizó el estudio, en la FCQ la generación de residuos es de 34 g/estudiante día, en la Facultad de Arquitectura 19 g/estudiante día y por último en la FCBA 23 g/estudiante día.

Por medio del estudio de cuantificación de subproductos, se pudo determinar que los tipos de residuos mayormente generados en las facultades son: en la FCQ y la FCBA los residuos alimenticios, seguido de los residuos no reciclables que representan un poco menos de la mitad de residuos generados al día. Un dato importante es que a pesar de que se han tomado medidas para restringir el uso del uncel dentro de la Universidad Veracruzana, en la FCQ y la FCBA se sigue generando ese tipo de residuo.

5. Conclusiones.

Los principales residuos identificados fueron alimentos, papel y cartón y residuos no reciclables. Con estos datos se recomendará la introducción de sistemas de separación de residuos desde la fuente, proporcionando distintos contenedores identificados para este propósito.

De acuerdo a la cantidad y tipos de residuos que se generan dentro de las facultades, se podrán emitir recomendaciones a la administración universitaria, sobre estrategias para la minimización de residuos, mayores niveles de reciclaje y compostaje, así como la implementación de un programa de gestión de residuos universitarios. Debido a que cada facultad presenta un comportamiento de generación de residuos distinto a las otras, es pertinente que cada facultad tenga su propia gestión de residuos.

6. Referencias Bibliográficas.

[1] Bustos F. C. (2009). “La problemática de los desechos sólidos”. *Economía*. Vol. 27. (121-144).

- [2] Espinosa R.M., Turpin S., Polanco G., De la Torre A., Delfín I., Raygoza I. (2008). “Integral urban solid waste management program in a Mexican university”. *Waste Management*. Vol 28 (27–32).
- [3] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2012). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. En línea <http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcnica/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf> Recuperado el (13/05/2016)
- [4] Norma Mexicana NMX-AA-022-1985: Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - selección y cuantificación de subproductos. SEMARNAT. (2016). <<http://www.semarnat.mx/leyes-y-normas/nmx-suelo>> Recuperado el (13/05/2016)
- [5] Norma Mexicana NMX-AA-61-1985: Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - determinación de la generación. SEMARNAT. (2016). <<http://www.semarnat.mx/leyes-y-normas/nmx-suelo>> Recuperado el (13/05/2016)
- [6] Reporte Centro De Estudios Sociales Y De Opinión Pública (CESOP). 2012. “Residuos Sólidos Urbanos en México”. Núm. 51 (20-29)
- [7] Smyth P., Fredeen L., Booth L. 2010. “Reducing solid waste in higher education: The first step towards ‘greening’ a university campus”. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 54 (1007–1016).

Arribo de residuos sólidos en el santuario de la tortuga marina X'Cacel – X'Cacelito

¹María de la Luz García García, ²Yenni Arely Chan Varguez, ²José Luis Guevara Franco, ²Laura Patricia Flores Castillo, ²José Alfonso Canché Uuh

¹Universidad de Quintana Roo, Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort Colonia Del Bosque, 1112444@uqroo.mx

²Universidad de Quintana Roo.

Resumen

Una cantidad importante de residuos sólidos arriba cada año a las playas de todo el mundo. Este es un problema global al traer grandes consecuencias negativas al medio marino y costero, así como impactos económicos y sociales por la presencia de dichos residuos. En el siguiente trabajo se describe la condición de las playas del Santuario de la Tortuga Marina X'Cacel-X'Cacelito, en materia de residuos sólidos marinos. Para esto es necesario la realización de una evaluación en presencia de residuos sólidos en las playas, verificándolo con la normatividad mexicana la NMX-AA-120-SCFI-2006 en materia de residuos sólidos; caracterizar y conocer la cantidad de residuos sólidos encontrados en el sitio. Se llevaron a cabo dos muestreos para la playa de X'Cacel y dos para X'Cacelito; consiste en la recolección, caracterización y cuantificación de los residuos que se encuentren en el área muestreada, se hizo en un transecto de 100 metros paralelo a la línea de costa; este estudio es el primero en documentar las condiciones del sitio. Para el primer muestreo en X'Cacel se obtuvo un total de 63.35kg y el mayor porcentaje de los residuos encontrados fue para Unisel con 43.17%; en X'Cacelito fue de 11.05kg, con 30.77% Artes de Pesca. Mientras que en el segundo muestreo fue de 40.95kg para X'Cacel con un 33.58% de Plástico Rígido y 23.5kg para X'Cacelito con 29.57% Plástico Rígido. Muchos residuos (plásticos principalmente) encontrados provienen de países de Sudamérica por lo que se deduce que son arrastrados por las corrientes marinas hasta nuestras costas.

Palabras Clave: *Cuantificación, Caracterización, Contaminación Marina, Residuos Sólidos, X'Cacel – X'Cacelito.*

1. Introducción

Cada año aumenta el consumo de productos como: vidrio, plástico, metal, papel, madera, fibras sintéticas, entre otros; que generan grandes toneladas de desechos. Gran parte de la producción mundial de residuos sólidos, no solo acaba en los sitios de disposición final a los que deberían ser destinados, como plantas recicladoras, o bien, rellenos sanitarios; muchos de ellos son arrojados en la vía pública, terrenos baldíos, playas y/o cuerpos de agua. Esto debido al mal manejo y falta de gestión hacia ellos y la inadecuada comprensión por parte de la sociedad de las potenciales consecuencias que sus acciones pueden impactar negativamente en los ecosistemas.

Las playas son sitios con gran demanda turística, la gran riqueza natural que poseen las hace ser atractivas y sumamente explotadas. Esto ocasiona que sus recursos naturales se vayan perdiendo o se vean afectadas por el manejo inadecuado.

La cantidad de residuos sólidos que ingresan a ambientes marino costeros se asocia a lo que se conoce como basura marina, que a su vez se define como todo material sólido persistente, manufacturado o elaborado, que se desecha, elimina o abandona en el medio marino y costero. Este tipo de basura representa una problemática no solo a nivel local sino también a nivel regional y global, la cual genera una serie de impactos negativos sobre los diferentes ambientes marino costeros y sobre las sociedades que se relacionan directamente con ellos (Comisión Colombiana del Océano, 2008).

En México, en los últimos 10 años, se ha dado un fuerte crecimiento demográfico sobre la zona costera, cuyas poblaciones siguen utilizando el mar y otros cuerpos de agua cercanos al litoral como reservorios. La

carencia de educación ambiental y la falta de políticas adecuadas que regulen esas actividades han traído como consecuencia la degradación de los ecosistemas costeros y su explotación irracional (Colegio Nacional de Ciencia y Tecnología, 2013).

Los ecosistemas costeros no sólo abarcan una amplia gama de tipos de hábitat y una enorme riqueza de especies, sino que, además, albergan nutrientes y, en su ciclo, filtran contaminantes provenientes de los sistemas continentales de agua dulce, y ayudan a proteger la línea costera de la erosión y las tormentas. Contiguo a la línea costera está el océano, que cumple un papel fundamental en la regulación hidrológica y el clima, además de constituir una importante fuente de carbono y oxígeno por su alta productividad de fitoplancton. Por todo esto, el uso, manejo y conservación de los ecosistemas costeros juegan un papel primordial en la estrategia de desarrollo de un país (NMX-AA-120-SCFI-2006).

2. Metodología/Desarrollo

Para poder llevar a cabo el trabajo, se siguieron los pasos adecuados durante la ejecución de cada actividad necesaria en la realización de los objetivos planteados.

Antes de seleccionar la fecha para la realización de los muestreos se tomó en cuenta las mareas, en este caso las mareas bajas, para tener mayor área a muestrear o campo de trabajo al momento de la recolección de los residuos.

Tanto en X´Cacel como en X´Cacelito se muestreo en la primer Zona ya que al hacer el recorrido en la playa se notó cierta homogeneidad en la presencia de Residuos a lo largo de la costa.

2.1 Analizar, cualificar y cuantificar la presencia de los Residuos Sólidos en las playas de X´Cacel – X´Cacelito

2.1.1 Observación y evaluación del sitio

Analizar las tablas de predicción de mareas para localizar el día y el horario en que se encuentre una de las mareas más bajas para el mes que se desee muestrear; y así tener mayor campo de recolección de residuos sólidos.

Primer muestreo - X´Cacel: Se acudió al Santuario de la Tortuga Marina X´Cacel – X´Cacelito, el día 30 de julio de 2015, donde se realizó un recorrido a lo largo de la costa para cerciorarse de la presencia de residuos sólidos en la playa. Se procedió a iniciar el muestreo. El muestreo se realizó de forma paralela a la línea de playa, la recolección se hizo de forma manual. La zona donde se realizó el muestreo fue en la zona 1 correspondiente a X´Cacel. Se encuentra en la punta que divide las ensenadas de X´Cacel con X´Cacelito.

X´Cacelito: El muestreo para esta playa se desarrolló el día 31 de julio de 2015, se siguieron completamente los mismos pasos que para el muestreo descrito anteriormente en la playa de X´Cacel. La zona donde se muestreo es la zona 1 correspondiente a la playa de X´Cacelito.

Segundo muestreo: Se regresó al sitio el día 24 de diciembre para la recolecta de residuos marinos en ambas playas. Éste se hizo en los mismos puntos de muestreo de la primera ocasión para poder tener un cuadro comparativo de datos en caracterización y peso de los residuos encontrados.

2.1.2 Caracterización de residuos sólidos.

El Proyecto Piloto de OSPAR, fue el primer intento de un método estandarizado para el monitoreo de los residuos marinos en playas europeas, como en otras regiones. El Proyecto Piloto se ha llevado a cabo en Bélgica, Dinamarca, Francia, Alemania, Países Bajos, España, Suecia y el Reino Unido (OSPAR Commission et al, 2009). El tamaño de muestra descrito en Proyecto Piloto OSPAR “Pilot Project on

Monitoring Marine Beach Debris” (OSPAR,2007), es sugerido un transecto de 100 metros por 100 metros, ajustando a las condiciones del lugar (Kienitz, 2013).

Existen distintos métodos para la caracterización y cuantificación de los residuos sólidos marinos, pudiendo mencionar a Ocean Conservancy a través de The International Coastal Cleanup (Limpieza Internacional de Costas) que es el evento de limpieza de costas más grande del mundo que, los voluntarios logran con esfuerzo en nombre de la salud de los océanos y cursos de agua (Ocean Conservancy, 2013); Ocean Conservancy maneja una lista propia que está dividida por categorías de acuerdo a las actividades humanas que se realizan cerca y/o dentro de los océanos y cursos de agua, en cuanto al área a limpiar, no está establecida un transecto fijo.

En México existe la norma mexicana NMX-AA-120-SCFI-2006 que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de playas; en el cual, haciendo referencia a los Residuos Sólidos, maneja el muestreo, con una limpieza de playas realizada de forma manual; se hace en forma perpendicular a la playa comenzando desde la marca de la línea de marea reciente hasta el inicio de la duna ó zona de vegetación, en un transecto de 100 metros paralelo a la playa y la unidad que maneja es en kilogramos por transecto.

A pesar de todos ellos no hay un método oficialmente establecido para la realización del muestreo, esto según Kathy Velandier (1999), menciona en su artículo “Beach Litter Sampling Strategies: is there a Best Method?” que la metodología depende de los resultados que se deseen obtener, por tanto, no podemos seguir los mismos pasos, solo sirven de base para dar una idea general de las categorías de residuos sólidos que se incluirán en el estudio y la forma en que se llevará a cabo el muestreo.

El método seguido para este estudio consistió primeramente en la delimitación del área procedente a limpiar, con ayuda de una cuerda de 100 metros (medida previamente) se extiende a lo largo de la playa de manera paralela a la línea de marea y se coloca una estaca en cada extremo para fijarla a la arena y evitar que se pierda la marca que divide nuestra área de estudio. Al tener establecida el área a muestrear, comenzar con la recolección de los Residuos Marinos; la recolecta se hará de forma manual para evitar perturbar el Área Natural Protegida. Cada residuo encontrado durante la limpieza del transecto se introducirá en bolsas para basura. La caracterización se puede realizar de dos maneras: primera, recolectar los residuos de cada tipo (Ver tabla 1) en bolsas distintas o; segunda, recolectar todos los residuos juntos en una bolsa y al final separarlos de acuerdo al tipo de residuo que es.

2.1.3 Pesaje de residuos sólidos.

Al terminar de realizar la separación de los residuos, se procede al pesaje de los mismos. De acuerdo a la lista de caracterización de los residuos marinos, poner sobre la balanza cada tipo de residuos sólido (subproducto), es decir, pesar todo el plástico rígido, vidrio, zapatos, etc. encontrado; y registrar el peso de cada uno en la bitácora.

La lista de Residuos que se maneja puede apreciarse en la Tabla 1 de la cual la lista es similar a la que maneja la NMX-AA-22-1985 Selección y cuantificación de subproductos, que establece el método para llevar a cabo la selección y cuantificación de los residuos sólidos contenidos municipales, sirve para hacer una estimación de los residuos sólidos que se generan en un municipio o localidad, los datos de cada residuo se manejan en peso y se puede sacar el porcentaje contenido de cada residuo.

A la Lista del apéndice de la NMX-AA-22-1985 se le hizo una modificación para adecuarla a los residuos comúnmente encontrados en las playas, tomando en cuenta la lista que maneja Ocean Conservancy.

Tabla 1. Lista de Residuos Sólidos

Subproducto	Peso (kg)
Artes de pesca	
Cartón	
Envases de cartón encerado	
Fibra sintética	
Fibra dura vegetal	
Focos	
Hueso	
Hule	
Lata	
Loza y cerámica	
Madera	
Materiales de construcción	
Material ferroso	
Material no ferroso	
Medicamentos	
Pañales desechables	
Papel	
Papel sanitario	
Pet	
Pilas/baterías	
Plástico de película	
Plástico metalizado	
Plástico rígido	
Poli estireno expandido, uncel y desechables	
Poliuretano, hule espuma	
Pp	
Residuos alimenticios	
Vidrio de color	
Vidrio blanco	
Tetra pack, tetrabrik	
Trapo	
Zapatos	

2.2 Verificación del cumplimiento de la NMX-AA-120-SCFI-2006 en materia de residuos sólidos.

Al obtener los datos en la bitácora de trabajo, continuar con la comparación de los mismos con las estimaciones / los rangos que marca la NMX-AA-120-SCFI-2006 en materia de residuos sólidos.

3. Resultados

3.1 Analizar, cualificar y cuantificar la presencia de los Residuos Sólidos en las playas de X'Cacel – X'Cacelito

3.1.1 Observación y evaluación del sitio

Se revisaron las tablas de mareas del CICESE para el mes de julio de 2015 de las estaciones de monitoreo establecidas en Puerto Morelos y Calica, las que se compararon en busca de alguna similitud en el comportamiento del nivel de marea para cada sitio, para lo cual fue certero el fin comparativo.

Mientras que, para el segundo muestreo, en el mes de diciembre de 2015, se seleccionó un día que tuviera comportamientos parecidos al del día en que se realizó el primer muestreo. De acuerdo a la fecha seleccionada se estableció la hora en que se llevaría a cabo la realización del muestreo, para cada playa.

3.1.2 Caracterización de residuos sólidos.

Los Residuos que se encontraron a lo largo del primer muestreo (el día 30 de julio 2015) para la playa de X'Cacel fueron: artes de pesca, envases de cartón encerado, fibra sintética, fibra dura vegetal, hule, loza y cerámica, material ferroso, medicamentos, PET, plástico de película, plástico rígido, poli estireno expandido, poliuretano, Polipropileno, vidrio de color, vidrio blanco, trapo y zapatos.

Para el primer muestreo (31 de julio de 2015) en el transecto de X'Cacelito se encontraron los siguientes Residuos: artes de pesca, envases de cartón encerado, fibra sintética, fibra dura vegetal, lata, hule, madera, medicamentos, PET, plástico de película, plástico rígido, poli estireno expandido, poliuretano, Polipropileno, vidrio de color, vidrio y zapatos

El día 24 de diciembre se obtuvieron los siguientes datos para X'Cacel: artes de pesca, fibra dura vegetal, lata, madera, material ferroso, medicamentos, PET, plástico de película, plástico rígido, poli estireno expandido, poliuretano, Polipropileno (PP), vidrio de color, vidrio blanco, trapo y zapatos.

Los Residuos obtenidos en el segundo muestreo para X'Cacelito fueron: artes de pesca, fibra dura vegetal, hule, madera, material ferroso, material no ferroso, medicamentos, PET, plástico de película, plástico rígido, poli estireno expandido, poliuretano, Polipropileno (PP), vidrio blanco, trapo y zapatos.

3.1.3 Pesaje de residuos sólidos.

La tabla 2 muestra el peso en kilogramos de los residuos encontrados en las playas de X'Cacel y X'Cacelito en las fechas correspondiente de muestreo.

3.2 Verificación del cumplimiento de la NMX-AA-120-SCFI-2006 en materia de residuos sólidos.

Durante el primer muestreo, se encontró un total de 63.35 kg de Residuos Sólidos en las playas de X'Cacel; 30.33 kg encontrados en X'Cacelito.

Para el segundo muestreo, en X'Cacel se redujo el total en peso de los residuos presentes en la playa, a 45.05 kg; mientras que en X'Cacelito aumento en peso a 41 kg.

4. Conclusiones

El estudio de campo demostró que el Santuario de la Tortuga Marina X'Cacel – X'Cacelito presenta contaminación por residuos sólidos, a pesar de ser un Área Natural Protegida y contar con una gran importancia ecológica, está siendo impactada negativamente por los residuos sólidos a causa del manejo inadecuado de los mismos.

Comparando los datos del primer con el segundo muestreo es notoria la cantidad y el tipo de residuos sólidos encontrados que llegan a las playas, se puede notar que hay variación en cuanto a la persistencia de un solo tipo de residuos. Los plásticos, que hoy en día es comúnmente usado por las industrias por ser un material ligero, económico y resistente, en su variedad de productos lanzados al mercado, junto con la situación actual sobre el consumismo descontrolado provoca que haya mayor número de residuos sólidos no solo a nivel local, esto es un problema a nivel mundial. Comprar productos desechables hace que su valor y uso sean vanos, al ser productos diseñados para ser usados una sola vez. Un dato sobresaliente para este estudio fue que el plástico encontrado como PET o plástico rígido no se colocó en los primeros lugares, sino fue el

unicel, que de cualquier forma sigue siendo un tipo de plástico que como bien se sabe el plástico es uno de los causantes de grandes problemas ambientales.

Tabla 2. Residuos Sólidos

Subproducto	Muestreo 1		Muestreo 2		
	30 de julio 2015	31 de julio 2015	24 de diciembre 2015	24 de diciembre 2015	Suma por subproducto
	X'cacer	X'cacerito	X'cacer	X'cacerito	
	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)	
Artes de pesca	4.6	3.4	1.85	1.25	11.1
Cartón	0	0	0	0	0
Envases de cartón encerado	0.05	0.05	0	0	0.1
Fibra sintética	0.05	0.05	0	0	0.1
Focos	0	0	0	0	0
Hueso	0	0	0	0	0
Hule	0.4	0.15	0	1.2	1.75
Lata	0	0.05	0.2	0	0.25
Loza y cerámica	0.1	0	0	0	0.1
Madera	0	2.9	3.05	3.25	9.2
Materiales de construcción	0	0	0	0	0
Material ferroso	24.2	0	7.15	0.1	31.45
Material no ferroso	0	0	0	0.05	0.05
Medicamentos	0.1	0.05	0.1	0.05	0.3
Pañales desechables	0	0	0	0	0
Papel	0	0	0	0	0
Papel sanitario	0	0	0	0	0
Pet	1.45	0.65	5.45	2.85	10.4
Pilas/baterías	0	0	0	0	0
Plástico de película	0.2	0.8	0.4	1.2	2.6
Plástico metalizado	0	0	0	0	0
Plástico rígido	0.4	1	13.75	6.95	22.1
Poli estireno expandido, uncel y desechables	27.35	1	0.95	0.8	30.1
Poliuretano, hule espuma	1.3	0.05	0.55	0.2	2.1
Pp	0.1	0.1	3.3	0.1	3.6
Residuos alimenticios	0	0	0	0	0
Vidrio de color	0.25	0.15	0.15	0	0.55
Vidrio blanco	1.2	0	1.2	1.25	3.65
Tetra pack, tetrabrik	0	0	0	0	0
Trapo	0.2	0	0.1	0.1	0.4
Zapatos	1.4	0.65	2.75	4.15	8.95
Suma	63.35	11.05	40.95	23.5	138.85

Muchos de los residuos marinos encontrados son de origen internacional. La mayoría plásticos que son los que tiene mayor duración en cuanto al tiempo que tardan en biodegradarse por no estar en las condiciones óptimas para las que fueron diseñados, una de ellas es que se descomponen gracias a las bacterias que se encuentran en el suelo, por lo tanto, en medio del océano será más lenta su degradación. Algunos de ellos son provenientes de Jamaica, República Bolivariana de Venezuela, Haití, el Salvador, Guyana, Nicaragua, lo que se puede decir es que son arrastrados con las corrientes marinas hasta que arriban a nuestras costas, la corriente que interviene es primeramente la Corriente Ecuatorial del Norte, luego pasa a la corriente del Caribe y conforme va avanzando al norte llega a nuestra corriente local, la Corriente de Yucatán.

Se encontró que el área muestreada cuenta con altas cantidades de residuos sólidos, por encima de lo establecido en la norma NMX-AA-120-SCFI-2006. De acuerdo a la norma mexicana NMX-AA-120-SCFI-2006, se puede decir que la línea de costa de X'Cacel – X'Cacelito muestreada no cumple con las especificaciones que se contemplan en la misma, ya que ésta indica que, por cada transecto con longitud de 100 metros, debe haber como máximo 5 unidades de residuos sólidos, y/o un peso menor de 5 kg. habiendo encontrado más de 5 kg en cada muestreo en las dos playas. Lo que puede ocasionar que la fauna del lugar ingiera residuos plásticos, por confundirlos con su alimento poniendo en riesgo su vida. Una desventaja para esta norma mexicana es que es de carácter voluntario el cumplimiento de la misma en caso de que se quiera certificar la playa.

Debe implementarse un mejor manejo de residuos sólidos en las playas o costas, no solo estatalmente para el estado en este caso, para el estado de Quintana Roo sino mundialmente, ya que la legislación internacional existente es enfocada a los residuos sólidos que se arrojan desde fuentes marinas, como barcos, buques, aeronaves que se encuentren dentro de los océanos.

5. Referencias

- Colegio Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT. (11 de marzo de 2013). *Programa Nacional de Investigación Oceanográfica*. Recuperado el 8 de Agosto de 2015, de <http://digaohm.semarn.gob.mx/CIIO/imagenes/ciio/PNIOWeb.pdf>
- Comisión Colombiana del Océano. (diciembre de 2008). *Efectos adversos generados por la basura marina y conformación del grupo de trabajo para reducir su ingreso al mediomarino de la bahía de San Andrés de Tumaco*. Informe Final, Comisión Colombiana del Océano, Bogotá. Recuperado el 13 de Agosto de 2015, de Informe final: <http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/planaccion/biblioteca/pordinario/014.Informe%20Final%20%20-%20Proyecto%20Basura%20Marina.pdf>
- Kienitz, A. T. (2013) Marine Debris in the Coastal Environment of Iceland's Nature Reserve, Hornstrandir - Sources, Consequences and Prevention Measures (tesis de maestría). University of Akureyri, Islandia. Obtenido de [http://skemman.is/stream/get/1946/15898/36867/4/Anna-Theresa_Kienitz_\\$00283\\$0029.pdf](http://skemman.is/stream/get/1946/15898/36867/4/Anna-Theresa_Kienitz_$00283$0029.pdf)
- NMX-AA-22-1985 Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Selección y cuantificación de subproductos. México, Distrito Federal.
- NMX-AA-120-SCFI-2006. Que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de playas. Distrito Federal, México.
- Ocean Conservancy (2013). Volunteer Ocean Trash Data Form. Obtenido de: <http://www.oceanconservancy.org/our-work/international-coastal-cleanup/data-form.pdf>
- OSPAR Commission. (2007). OSPAR Pilot Project on Monitoring Marine Beach Debris Monitoring of marine debris in the OSPAR region. Obtenido de: <http://www.ospar.org/documents?v=7058>
- OSPAR Commission, KIMO, UNEP. (2009). Marine Debris in the Northeast Atlantic Region; Assessment and Priorities for Response. OSPAR Commission. Obtenido de http://qsr2010.ospar.org/media/assessments/p00386_Marine_Litter_in_the_North-East_Atlantic_with_addendum.pdf
- Velander, K. & Mocogni, M. (1999). Beach Litter Sampling Strategies: is there a 'Best' Method?. *Marine Pollution Bulletin*, 38 (12), 1134-1140.

Residuos peligrosos domésticos de viviendas de interés social en la ciudad de Morelia

²Evelia Santillán Ferreyra, ³Juan Manuel Sánchez Yáñez ¹Liliana Márquez Benavides

^{1,2}Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Posta Veterinaria Km. 1.5 Morelia- Zinápecuaro. CP. 58880. Tel/Fax (443) 3223500 Ext. 5218. Morelia, Michoacán, México. E.mail: lilimbenavides@gmail.com

³Instituto de Investigaciones Químico Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Gral. Francisco J. Mujica. Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán.

^{1,2}Maestría en Ciencias y Maestría en producción Agropecuaria en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México.

^{1,2}Cuerpo académico, Ciencias Ambientales Aplicadas al Control y Prevención de la Contaminación Ambiental CA-UMSNH-167.

^{1,2}Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a los Residuos Sólidos, A. C (SOMERS)

Resumen

Los residuos peligrosos domésticos (RDP) pueden definirse como cualquier material desechado por un hogar potencialmente para constituir un riesgo para la salud humana y el medio ambiente, debido a su naturaleza química o biológica. Se trata de artículos como, productos farmacéuticos, pinturas y productos de jardinería o para animales domésticos como: pesticidas, herbicidas, funguicidas, limpiadores domésticos, productos para automóviles y/o químicos de tratamiento de aguas y otros como tubos fluorescentes, pilas, alarmas entre otros. Los RDP constituyen residuos difíciles de controlar, dado que se generan en pequeñas cantidades en un gran número de puntos. No obstante, una vez recogidos, existe la opción de la eliminación de forma segura ya sea reutilizándolos, reciclando, recuperándolos o eliminándolos. El objetivo de este trabajo fue identificar la generación de residuos peligrosos domésticos en un fraccionamiento de interés social en la ciudad de Morelia, Michoacán, México, diferenciando entre la producción de envases y la producción del producto peligroso propiamente dicho. Este análisis se realizó en un fraccionamiento que cuenta con 283 viviendas habitadas y se levantó un estudio de caracterización y generación de residuos sólidos domésticos. Los resultados del estudio de caracterización revelaron que existe una generación de residuos sólidos de 1.5 kg residuos sólidos domésticos/vivienda. La presencia de fármacos y medicamentos en la corriente de residuos domésticos sugiere la necesidad de reforzar la educación y prevención de la disposición de este tipo de residuos en la población.

Palabras Clave: *Medicamentos caducos, productos aseo personal.*

1. Introducción

La contaminación del medio ambiente no solo es causada por la fabricación de sustancias y productos, sino también por el uso que se les da; muchos productos de uso frecuente en el hogar contienen sustancias químicas que son arrojados como Residuos Sólidos Urbanos (RSU), contribuyen a la contaminación del ambiente, la salud y causan un alto impacto a las reservas de acuíferos. [1] Se calcula que una población alrededor de 100 000 arrojan al alcantarillado mensualmente 3,75 toneladas de diversos productos de limpieza y de 3,4 toneladas de aceites de motores y otros productos. Estas cifras no incluyen las grandes cantidades de residuos que se entierran o arrojan sobre a orillas de las carreteras, terrenos baldíos, patios, parques, canales y ríos. Esta práctica es muy peligrosa para salud pública, sin embargo se sigue haciendo debido a que hay un desconocimiento de que estos productos que son de uso común, contienen una gran cantidad de sustancias químicas peligrosas. Por lo general se tienen en los hogares los siguientes productos que contienen sustancias peligrosas como: productos domésticos de limpieza, productos para el cuidado y aseo personal, pinturas en general, productos para el automóvil y plaguicidas. [2]

Los Residuos Peligrosos Domésticos (RPD) se pueden definir como: Los RSU que incluyen todos los materiales sólidos o semisólidos que ya no se consideran de valor como para ser retenidos. La gestión de estos materiales residuales es la preocupación fundamental de todas las actividades englobadas en la gestión

de residuos sólidos. Por esta razón, es importante conocer acerca de estos residuos sólidos urbanos, que están regulados por las instancias municipales los cuales no son clasificados y quedan sin ningún ordenamiento o plan de manejo, en términos generales los RSU y los RPD son considerados como basura. En los hogares se encuentran gran cantidad de productos que contienen sustancias químicas peligrosas como: metales pesados, dicloroetano, tetracloruro de carbono, di-bromuro de etileno, sileno y cloruro de vinilo entre otros. Estos aunque son en pequeñas cantidades en los RSU, por sus cualidades son clasificados como peligrosos. [3] [4].

En el marco normativo para la regulación de los residuos peligrosos se tiene la publicación en 1988 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) su Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos y siete Normas Oficiales Mexicanas, así como la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) Las cuales regulan el manejo de los Residuos Peligrosos (RP), se señala como responsables a las empresas gubernamentales y privadas ya que son estas quienes generan estos residuos. [4] [5].

Los reportes de la generación y caracterización de RPD es escasa en México. El objetivo de este trabajo fue identificar la generación de residuos peligrosos domésticos en un fraccionamiento de interés social en la ciudad de Morelia, Michoacán, México, diferenciando entre la producción de envases y la producción del producto peligroso propiamente dicho.

2. Materiales y métodos

2.1 Sitio de estudio

Se estudió un fraccionamiento de interés social en la zona suroeste de la ciudad de Morelia, Mich., durante el verano de 2013. El fraccionamiento cuenta con 283 viviendas habitadas y se levantó un estudio de caracterización y generación de residuos siguiendo los siguientes pasos:

A) Dado que la junta vecinal no permitió la recolección de bolsas por casa individual, se acordó con el chofer del camión recolector que da servicio al fraccionamiento de estudio que iniciaría el recorrido con el camión vacío. Se solicitó al mismo chofer que durante los seis días del estudio no realizara separación ni pepena alguna. Una vez que el camión recolector recorría el fraccionamiento, el camión se dirigía con la carga completa al Laboratorio de Residuos Sólidos de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

B) El tamaño de muestra recuperado del camión recolector fue de aproximadamente 100 kg por día. Se extrajo una muestra homogénea y representativa de la cantidad total recolectada por día: con un nivel de confianza del 90% (10% de margen de error y un 50% de coeficiente de variación), que corresponde a una muestra de 96 kg de residuos (EC, 2004). Con base en una variante de la Norma de Clasificación NTRS-5, propuesta por la SEDUE e incluida en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-22-1985 (SECOFI 1984), se implementó un análisis para la cuantificación de subproductos de los residuos sólidos domésticos (RSD). El estudio se llevó a cabo durante 6 días consecutivos.

C) De manera complementaria al estudio de caracterización de residuos se llevó a cabo mediante la caracterización de residuos peligrosos domésticos, incluyendo 8 categorías: Mantenimiento automotriz, mantenimiento del hogar, biocidas, productos de limpieza en el hogar, medicinas y fármacos, productos de belleza y aseo personal, baterías, eléctricos y otros. Se reportan dos diferentes resultados: el del peso del envase y el de peso del remanente del producto en el envase.

3. Análisis de resultados

3.1. Estudio de caracterización y generación de residuos sólidos domésticos

Los resultados del estudio de caracterización revelaron que existe una generación de residuos sólidos de 1.5 kg residuos sólidos domésticos/vivienda. Existe muy poca información reportada de la generación de residuos en la entidad, en el último trabajo publicado data de 2005 (Buenrostro et al., 2005). EL resultado obtenido es menor que lo reportado para el promedio de generación de la ciudad de Morelia, en donde se reportan para este estrato 0.8 kg residuos/habitante hace 10 años. Las razones pueden ser: 1) El sector económico estudiado, que es de bajos ingresos, son viviendas habitadas por familias jóvenes, con bebés o niños pequeños, lo que explica el alto porcentaje del rubro de “pañales” (13%); en estratos económicos el rubro de pañales puede ser menor al 1% (Castillo y Medina, 2014). 2) El Municipio de Morelia, a través de su departamento de aseo público ha llevado a cabo varias campañas de disminución de residuos, con lo que (en comunicación verbal) las autoridades afirman que se ha disminuido un total de 200 toneladas diarias la producción de residuos en la ciudad estudiada.

Se identificó que de la corriente de RSD, el 4.4 % de residuos lo constituyen RSDP. La composición de la fracción de residuos peligrosos se muestra en la Tabla 1. Es importante mencionar que no existe alguna reglamentación mexicana para esta clasificación.

Tabla 1. Categorización de residuos peligrosos domésticos

Tipo de Residuo	Componentes
Mantenimiento Automotriz	Aceite de motor, anticongelante, baterías, cera, gasolina, líquido para frenos, productos de limpieza automotriz y líquido de transmisión.
Mantenimiento del Hogar	Adhesivos, barnices, pinturas, removedor de pintura y barniz, solventes y thinner.
Biocidas (plaguicidas y artículos de jardín)	Bolas de naftalina, desinfectantes, insecticidas, líquidos para maleza, líquidos para preservar la madera, repelentes de insectos, talcos repelentes y collares antipulgas, veneno para ratas.
Productos de Limpieza	Amoniaco, líquido antisarro, aromatizante ambiental, blanqueador, líquido destapa caños, detergente en polvo, detergente líquido, jabón de barra, limpiador de piso, limpiadores para hornos, limpiadores para muebles de baño, líquidos quitamanchas, líquidos y cera para cubrir muebles, suavizante de telas, etc.
Medicinas y fármacos	Gel antibacterial, gel/aerosol para pie de atleta Jarabes, jeringas, medicamentos caducos, pomadas, solución inyectable, solución oftálmica, suero, suplemento alimenticio, supositorios, tabletas, supositorios, vitaminas, tratamiento para hongos y bacterias para peces etc.
Productos de belleza y aseo personal	Aerosoles, cosméticos, crema corporal, crema para afeitar, crema para cabello, pasta de dientes, líquido desmaquillante, desodorante en barra, enjuague bucal, esmalte para uñas, esponjas desmaquillantes, spray bucal, espuma modeladora, gel higiene femenina, gel limpiador de cabello, gel para el cabello, jabón, limpiadores de calzado, pasta adhesiva, dental, perfume, removedor de esmalte, sellador de puntas de cabello, champú, talco desodorante, talco para pies, tintes de pelo, toallitas limpiadoras, tratamiento capilar, etc.
Baterías y eléctricos	Acumuladores, cartucho de impresora, material eléctrico, pilas.
Otros productos	Corrector de tinta, detectores de humo, lámparas fluorescentes, material de artes, plastilina, entre otros.

Los componentes identificados se encontraron en distintas proporciones. La **Figura 1** muestra que los principales componentes de los RSDP son las categorías de “Medicinas y fármacos” y “Productos de belleza y de aseo personal”. Entre ambas categorías comprenden el 75% de los residuos peligrosos. Los medicamentos constituyen residuos que requieren de una desactivación adecuada para poder disponerse. Además, existen programas como los de SINGREM (Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases y Medicamentos), que desde el 2010 cuentan con el aval de la CANIFARMA para otorgar cobertura nacional en Mexico. Sin embargo, su alta contribución a la corriente de residuos peligrosos domésticos implica que las campañas aún no son completamente efectivas.

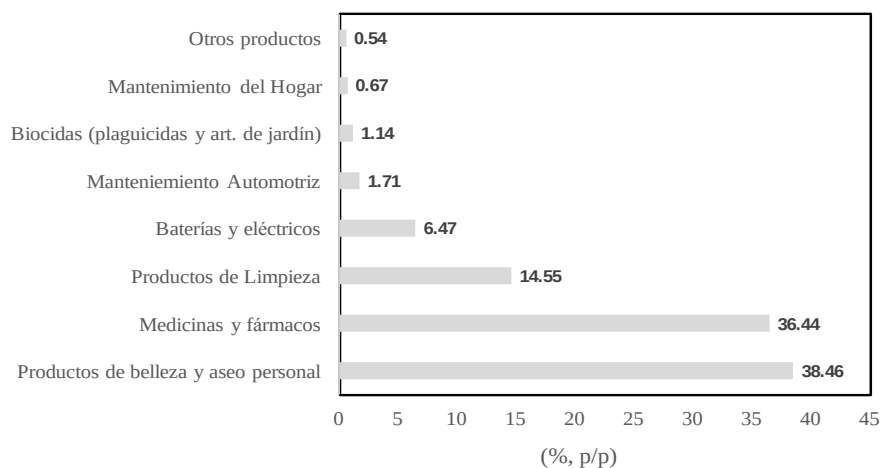


Figura 1. Composición porcentual dentro de la corriente de residuos sólidos domésticos peligrosos. (Cada barra representa el promedio obtenido en todo el estudio, es el promedio de 6 valores)

De acuerdo a los resultados obtenidos, de la corriente de residuos sólidos, solo se pesaron 0.7 kg de remanentes de residuos peligrosos, esto significa que el contenido de material peligroso propiamente dicho es de 0.1%. Dentro de la corriente de residuos peligrosos domésticos, el remanente representó el 7% del peso. La **Figura 2** muestra la composición de los remanentes encontrados en los envases; esto es importante porque los reportes de RSDP puede implicar varias posibilidades que a veces no son aclaradas: a) si el porcentaje reportado se relaciona al peso del envase mas el remanente, b) si el porcentaje reportado es el peso del envase de la categoría aunque no contenga residuo remanente, c) una mezcla de las dos opciones anteriores. En el caso de la Figura 1 los resultados representan la opción c), mientras que la Figura 2 muestra la proporción de material remanente únicamente. En tal caso, los envases con contenido de material peligroso son los medicamentos y fármacos con un (46 %).

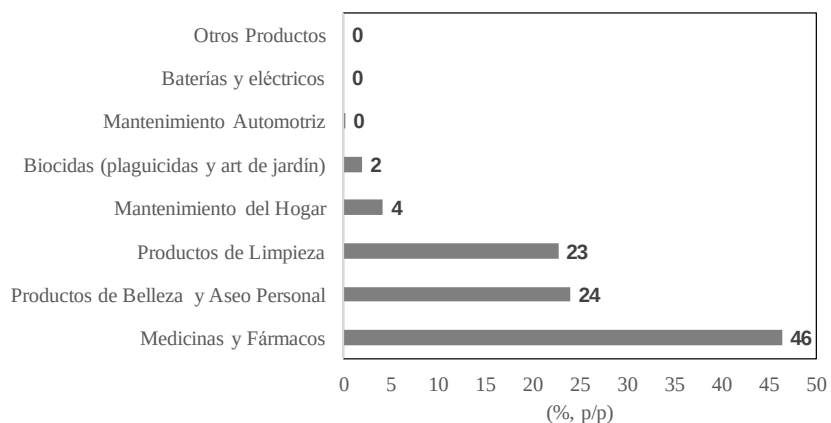


Figura 2. Contenido remanente en envases de residuos peligrosos domésticos

4. Conclusiones

Los resultados del estudio de caracterización revelaron que existe una generación de residuos sólidos de 1.5 kg residuos sólidos domésticos/vivienda. Sin lo anterior es posible que exista una sobreestimación de la producción de RSDP. La presencia de fármacos y medicamentos en la corriente de residuos domésticos sugiere la necesidad de reforzar la educación y prevención de la disposición de este tipo de residuos en la población.

Referencias Bibliográficas:

- [1] López, G*; Dorado, S., (2008). Residuos peligrosos domésticos en los residuos sólidos urbanos, REDISA. Departamento de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Madrid. C/Profesor Aranguren s/n.28040 Madrid. Spain. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Castellón, 23-24 de julio de 2008.
- [2] López J. J., Aguilar* J. H., (2000). Residuos Peligrosos Domésticos (Sustancias Peligrosas en el Hogar) Salamanca, Guanajuato. México. Pp. 1-10.
- [3] SEMARNAT-INECC, 2012. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.
- [4] DOF (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN). 2014a. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. Última reforma publicada el 16 de enero del 2014. (Consultado el 06 junio de 2016). <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf>
- [5] DOF (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN). 2014b. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003. Última reforma publicada el 10 de marzo del 2014. (Consultado el 06 de junio de 2016). <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/263.pd>
- [6] Buenrostro O., Marquez, L., Claudio, Y. (2005) Caracterización de los residuos sólidos residenciales de Morelia, Michoacán, México. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (BVSDE) México 2005. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/buenrostro.pdf> Fecha del último acceso: 29 mayo de 2016.
- [7] Castillo González, E. y Medina Salas, L. (2014) Generación y composición de residuos sólidos domésticos en localidades urbanas pequeñas en el estado de Veracruz, México. Rev. Int. Contam. Ambie. 30 (1) 81-90.

SECCION 2

GESTIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL

Uso de indicadores para mejorar la gestión de residuos municipales.

¹Dolores Elizabeth Turcott Cervantes, ¹Amaya Lobo García de Cortázar.

¹Universidad de Cantabria. Grupo de Ingeniería Ambiental. Departamento de Ciencias y Técnicas del agua y del medioambiente. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Avenida de los Castros s/n. Santander, Cantabria, España. Teléfono: (942) 20 2286. Correo electrónico: dolores-elizabeth.turcott@alumnos.unican.es

Resumen

En el presente trabajo se revisaron cuarenta grupos de indicadores para evaluar y mejorar la gestión de residuos municipales en distintos países. Los diversos grupos de indicadores se identificaron mediante búsqueda en fuentes electrónicas. Se realizó un análisis que incluyó, entre otros aspectos de los grupos de indicadores, los siguientes: antigüedad, ámbito geográfico para el que se han propuesto, tipo de indicadores (cualitativos, cuantitativos o mixtos), nivel de medición (internacional, nacional, estatal/regional, municipal o varios) y tipo de economía (países desarrollados, en desarrollo o ambos). Posteriormente, estudiando indicador a indicador, éstos se clasificaron dentro de una estructura que abarca los distintos aspectos y etapas implicadas en la gestión de residuos. Los resultados del análisis permiten detectar características para optimizar los sistemas de indicadores existentes e incrementar su utilidad como herramienta para la mejora de la gestión de los residuos municipales.

Palabras Clave: *Gestión de residuos, Indicadores, Residuos municipales.*

1. Introducción

La *gestión de los residuos municipales* es una cuestión relevante a nivel mundial, tanto desde el punto de vista ambiental, de protección de la salud humana, como económico, y también social. Para impulsar su avance y mejora, se han realizado diversas propuestas para países desarrollados y en desarrollo. Muchas de estas propuestas están basadas en la utilización de indicadores.

Los indicadores pueden ser útiles para la gestión de residuos desde diferentes perspectivas [1][2]:

- Como diagnóstico para detectar problemas.
- Evaluar el rendimiento o medición del progreso (incluyendo cumplimiento de objetivos y metas).
- Establecer valores de referencia o comparación (estudios de caso, mejores prácticas, etc.)
- Comparación entre dos o más municipios (regiones, comunidades, estados, países).
- Comparación un solo sistema de gestión en diferentes puntos en el tiempo (análisis temporales).
- Ayudar en la planeación/predicción de cambios en el futuro de los sistemas de residuos sólidos.
- Entre otros.

Sin embargo, y a pesar de que los indicadores son una herramienta útil por todo lo mencionado anteriormente, existen dos dificultades principales que impiden aprovechar al máximo su potencial:

- *La escasez de datos confiables:* por falta de cantidad y calidad de los datos disponibles, y obsolescencia de algunos, sobre todo en países en desarrollo (desde 5 hasta más de 15 años de antigüedad). Esto minimiza o anula la utilidad de los indicadores contruidos a partir de esos datos deficientes. Por otro lado, en ocasiones la información existe pero no se encuentra fácilmente disponible (por estar dispersa, en empresas, agencias u organismos que no la comparten, no disponible para el dominio público, etc.) [1], [3]–[7].
- *La falta de homogeneidad en los indicadores utilizados.* Para realizar comparaciones de la gestión de residuos entre distintos lugares se debe unificar el tipo, cantidad y definición de los indicadores

a utilizar. Inclusive para el análisis de un mismo sistema a lo largo del tiempo, es imprescindible (y no siempre se encuentra) dicha homogeneidad [7], [8].

El presente trabajo se enmarca en la línea de investigación del grupo de Ingeniería Ambiental (GIA) de la Universidad de Cantabria, que busca diseñar un *sistema integrado de indicadores para la evaluación y control de servicios de gestión de residuos municipales*, proponiendo soluciones para las problemáticas mencionadas.

En trabajos previos se creó un primer conjunto de indicadores para evaluar los aspectos técnicos de los sistemas de gestión municipales [9]. En la actualidad se trabaja para extender el conjunto propuesto a los aspectos institucionales, sociales y financieros (como se propone en [10], [11]), con especial atención a los sistemas de gestión de residuos en países en desarrollo. Esta fase del proyecto contempla cuatro etapas: 1) Análisis y selección de indicadores, 2) Diseño del sistema integrado de indicadores, 3) Aplicación y optimización del sistema en diversos estudios de caso, 4) Diseño final del sistema integrado de indicadores y de una herramienta de gestión de la información. A continuación se recoge un resumen de los resultados obtenidos durante la etapa 1, mostrando el análisis realizado sobre indicadores propuestos en diversos países (desarrollados y en desarrollo), así como la discusión de su utilidad como herramienta para la mejora de los sistemas de gestión de residuos municipales.

2. Metodología/Desarrollo

a) Documentación de los grupos de indicadores existentes

Se recopilaron los grupos de indicadores propuestos por distintos autores y utilizados en diferentes organismos, mediante una búsqueda en diversas fuentes (journals, congresos, bases de datos, páginas web, entre otros) para incluirlos en una tabla con la siguiente información:

- Autor (es).
- Año de publicación.
- País o región para la que se han propuesto.
- El total de indicadores por cada grupo.

b) Análisis de indicadores

Se analizaron los grupos de indicadores recopilando los siguientes aspectos:

- Tipo de indicadores incluidos (cualitativos, cuantitativos o mixtos).
- Nivel de aplicación de los indicadores (internacional, nacional, estatal/regional, municipal o varios).
- El tipo de economía (países desarrollados, en desarrollo o ambos).

Se diseñó una estructura del sistema de indicadores que abarcara los diferentes aspectos y etapas implicados en la gestión de residuos [8], [12]–[14]. Analizando los indicadores individualmente se clasificaron dentro de dicha estructura, para evaluar en qué aspectos o etapas se han propuesto la mayoría de ellos.

3. Resultados y discusión

a) Documentación de los grupos de indicadores existentes

Se encontraron y documentaron 40 grupos de indicadores diferentes abarcando desde los propuestos por agencias internacionales como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) [16], [25], [42], la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) [5], [17], entre otros; hasta los propuestos para municipios específicos como Tandil en Argentina [23] o San José de

Gracia en México [27]. Estos grupos de indicadores pueden observarse a detalle en la tabla 1. El grupo más antiguo encontrado fue el de 1983 propuesto por Sakurai [15], enfocado principalmente a indicadores operacionales para América Latina y el Caribe. Los indicadores más recientes, de 2015 y 2016, tienen diversos orígenes. Destaca el trabajo realizado por Wilson y colaboradores [11], cuyo antecedentes fueron presentados en 1996 en la II Conference on Human Settlements de UN-habitat [1]. En 2010 [6], publicaron un diagnóstico realizado a 20 ciudades y finalmente en 2015 [11] la propuesta de una metodología estándar que permite evaluar diversas ciudades y niveles económicos, incluyendo un manual para facilitar al usuario la aplicación de dichos indicadores.

Respecto al país o región para la que se han propuesto los indicadores, no existe una predominancia. Simplemente existen grupos de indicadores que fueron diseñados para ser aplicables a nivel de país, y otros diseñados específicamente para regiones o municipios.

El grupo de indicadores más numeroso fue [3] con 103 y los menos extensos entre 1 y 8 indicadores. El total de indicadores sumando los 40 grupos analizados fue de 1263 (ver en la última columna de la tabla 1). Los grupos de indicadores más extensos generalmente corresponden a nivel municipal y están conformados por indicadores de aspectos técnicos; donde algunos han sido aplicados para comparar diferentes municipios como por ejemplo [9] en España. Los grupos más pequeños de indicadores corresponden a la evaluación de regiones o países completos, donde también se han realizado análisis temporales como el caso de América Latina y el Caribe [5].

Por último, es importante destacar que, a excepción de algunos casos puntuales de indicadores como el del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [16] y la OPS [5], [17], ningún grupo de indicadores ha llegado a generalizarse hasta ser compartido por entidades de distinta naturaleza y por otro, no se han establecido relaciones entre los distintos niveles geográficos de aplicación, para trasladar indicadores de niveles inferiores a ámbitos superiores (por ejemplo integrar los valores de varias regiones al nivel de país).

b) Análisis de indicadores

En la figura 1 se muestra la distribución de los cuarenta grupos según los tipos indicadores que los conforman. La categoría mixta reúne los grupos que incluyen indicadores cualitativos y cuantitativos. Se observa que predominan los grupos de indicadores cuantitativos, porque como se ha indicado previamente, los indicadores municipales generalmente son de aspectos técnicos y por lo tanto están relacionados con flujos másicos o económicos. Como se muestra en la figura 2, casi el 50% de los grupos analizados fueron diseñados para ser aplicados a nivel municipal, lo que explica que predominen los indicadores cuantitativos.

Tabla 1. Grupos de indicadores para evaluar la gestión de residuos municipales analizados.

Fuente	Año	País/Región	Total de indicadores ¹
United Nations Environment Program (UNEP). [16]	2005	ASEAN ²	26
Abarca Guerrero, L.; Maas, G.; Hogland, W. [3], [4]	2013	PeD ³	103
Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ). [18]	2006	México	62
ISO 37120/GCI. [19], [20]	2015	Todos los países	10
OPS, AIDIS y BID. [5]	2010	ALC ⁴	75
SEMARNAT. [21], [22]	2013	México	6
MacDonald, M.L. [1]	1996	Todos los países	7
Guerrero, E.; Erbiti, C. [23]	2004	Argentina	90
Agencia Europea de Medio Ambiente. [24]	2015	Europa	11
ONU Statistics división. [25]	2011	Todos los países	7
European comission: EUROSTAT. [26]	2013	Europa	6
Municipio de San José de Gracia, Aguascalientes. [27]	2009	México	20
Slovenian Environment Agency. [28]	2014	Eslovenia	49
The Water and Waste Services Regulation Authority. [29]	2013	Portugal	55
United States Environmental Protection Agency. [30], [31]	2013	USA	23
Federal Office for the Environment, Switzerland. [32]	2014	Suiza	19
MAGRAMA de España. [33]	2014	España	16
OECD. [34]	2013	Varios	20
FEMP. [35]	2010	España	8
USAID, BID, BIRF, OPS. [17]	1995	ALC ⁴	35
FEMP. [36]	2008	España	21
Sistema de estadística ambiental de Argentina. [37]	2012	Argentina	3
Gestión Integral de residuos sólidos, Argentina. [38]	N.D.*	Argentina	36
CEPIS-OPS. [39]	2002	ALC ⁴	87
Belize Solid Waste Management Authority. [40], [41]	2015	Belice	91
Sakurai, K. [15]	1983	ALC ⁴	25
UNEP/Calrecovery. [16]	2005	PeD ³	103
UN-habitat. [6]	2010	Todos los países	8
Wilson D.C, et. al.[11]	2015	Todos los países	15
ONU, Department of Economic and Social Affairs. [42]	2015	Todos los países	10
Agencia de Cooperación Internacional Japonesa (JICA). [43]	2015	PeD ³	19
Armijo, C. et. al. [44]	2011	México	15
Bringhenti, J.R. et. al. [45]	2011	Brasil	25
Fragkou, M.C., et. al. [46]	2010	España	1
Guimaraes, B. et. al. [48]	2010	Portugal	26
Hotta, Y. et. al. [49]	2014	Asia	12
Nicolli, F.[51]	2011	Italia	6
Zaman, A.U. [47]	2014	Australia	56
Sartor, A. [52]	1998	Argentina	16
Munizaga P., J.A. [9]	2016	España	40
Total de indicadores			1263
*N.D. Sin fecha disponible, está publicado en la página web del gobierno de Argentina, ver en referencia [38].			
¹ Se excluyeron algunos indicadores sobre residuos peligrosos industriales, e información base (demográfica, económica, etc.)			
² La región ASEAN incluye: Brunei, Cambodia, Indonesia, Laos, Malaysia, Myanmar, Filipinas, Singapur, Tailandia y Vietnam.			
³ PeD=Países en Desarrollo.			
⁴ ALC=América Latina y el Caribe.			

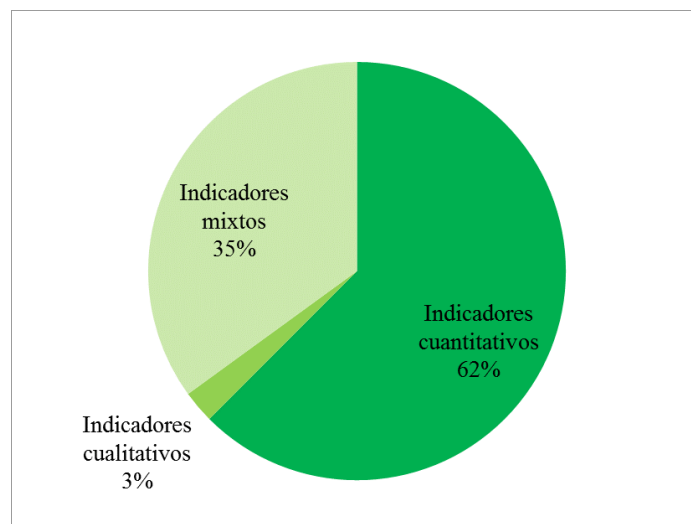


Figura. 1. Clasificación de los grupos de indicadores según el tipo de indicadores que los conforman.

En la figura 2, se puede observar que solo el 18% de los grupos fueron diseñados para evaluar más de un nivel. Estas propuestas se han aplicado en diversos países como Australia [47], Portugal [48], España [46], Belice [40], [41] y algunos países de Asia [49], [16]. Existen por ejemplo, planes marco de residuos donde se proponen los indicadores a nivel nacional y regional o municipal, indicadores sobre políticas de 3R (reducción, reuso y reciclaje) para regiones diversas. Por último, destacan los de ONU [42] y UNEP [16] que fueron propuestos para ser útiles en todos los niveles (internacional, nacional, estatal, municipal e inclusive a nivel comunitario o institucional). Sin embargo, en caso de [42] a pesar de que pueden aplicarse a cualquier país forman parte de un conjunto de indicadores de sostenibilidad; por lo que el tema de gestión de residuos está poco desarrollado con sólo diez indicadores enfocados en generación y manejo de residuos. En [16] los indicadores fueron propuestos para la region ASEAN (ver tabla 1) y proponen los mismos indicadores para todos los niveles sin especificar claramente su puntuación e integración de un nivel a otro.

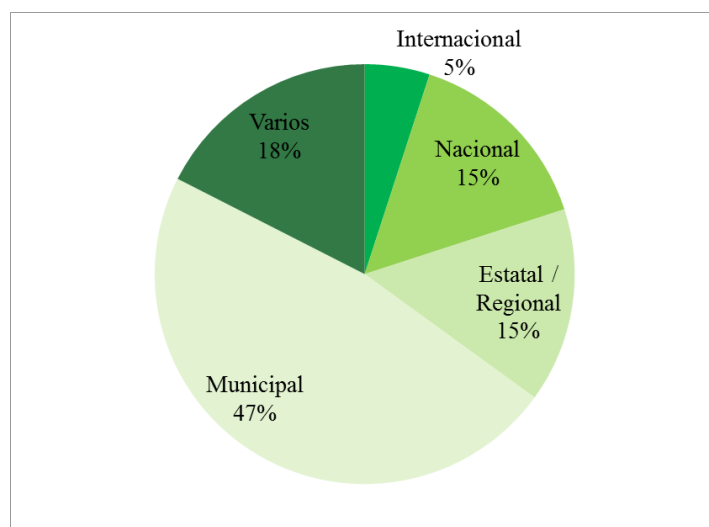


Figura. 2. Clasificación de los grupos de indicadores por el nivel geográfico para el que fueron diseñados.

Para el caso de los tipos de economía para las que fueron propuestos los grupos de indicadores, se observa en la figura 3, que predominan los países desarrollados; estos son pertenecientes principalmente a la Unión

Europea. Sin embargo, también está el grupo de indicadores de la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos de Norteamérica (algunos de sus análisis temporales de indicadores comienzan desde 1960, siendo los más desarrollados en este aspecto), y de América Latina destaca la aparición de Argentina (cuatro veces), ya que de acuerdo al Índice de Desarrollo Humano (IDH) de la ONU [50], es considerado como uno de los tres países de América Latina y el Caribe con un desarrollo humano muy elevado.

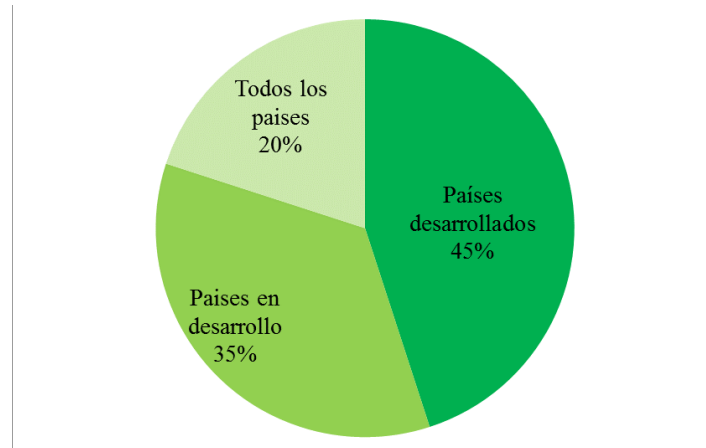


Figura. 3. Clasificación de los grupos de indicadores por tipo de economía para la que se propusieron.

Finalmente, los indicadores se clasificaron individualmente, atendiendo a la estructura del sistema de gestión de residuos diseñada. El resultado se muestra en la tabla 2. Esta estructura está compuesta por dos ambientes principales: socioeconómico y natural. A su vez, el ambiente socioeconómico se divide en diversos aspectos y etapas de la gestión de residuos como se observa en la tabla 2. Los aspectos incluidos son: técnicos/operativos, sociales, legales, institucionales, financieros y económicos.

El 58% de los indicadores analizados corresponden exclusivamente a aspectos técnicos/operativos, lo que ayuda a visualizar que aún existe un incipiente desarrollo en la cantidad de indicadores que existen para el resto de los aspectos que conforman la gestión de los residuos.

Todas de las etapas propuestas dentro de la estructura contienen por lo menos un indicador. Sin embargo, tal como se observa en la tabla, ninguno de los grupos de indicadores abarca todas las etapas, algo que indica que no llegan a realizar una evaluación integral de la gestión de residuos.

La mayoría de indicadores se concentra en:

- *Manipulación, procesamiento y transformación fuera de origen*, que incluye operaciones como separación secundaria, acopio, reutilización, reciclaje, valorización y otros. Destaca el reciclaje sobre el resto, con el 26% de los indicadores de esta categoría, debido a una mayor facilidad para medir los objetivos conseguidos en este ámbito. Por ejemplo, el *% ó toneladas de residuos reciclados* es un indicador que apareció en repetidas ocasiones (en más de 20 grupos de indicadores analizados).
- *Economía y financiamiento*, donde destacan los indicadores de costos y presupuestos con el 58% del total, lo que claramente se explica por una gran preocupación por la gestión económica de este servicio público (como ocurre en otros ámbitos). El *coste por tonelada*

Tabla 2. Clasificación de los indicadores para la gestión de residuos dentro de la estructura diseñada

Ambiente				Socioeconómico												Natu- ral
Aspectos	Legales	De economía y financiamiento	Institucionales	Técnicos/ operativos								Sociales				
Etapas	-	-	-	Prevención y reducción	Generación de residuos	Manipulación, procesamiento y transformación en origen	Limpieza vial	Recogida y transporte	Transferencia y transporte	Manipulación, procesamiento y transformación fuera de origen	Eliminación	Temas sociales	Educación	Temas laborales	Otros	-
Fuente																
UNEP	0	3	0	0	5	0	0	6	0	4	3	2	0	3	0	0
Abarca, et. al.	7	12	10	3	1	3	0	11	3	24	9	9	3	7	0	1
GTZ	0	28	0	0	2	0	6	6	4	12	4	0	0	0	0	0
ISO 37120/GCI	0	0	0	0	1	0	0	2	0	2	5	0	0	0	0	0
OPS, AIDIS y BID	2	13	2	0	3	1	6	9	1	16	6	0	0	16	0	0
SEMARNAT	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0
MacDonald	0	1	0	0	2	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0
Guerrero, et. al.	4	1	0	0	9	3	0	7	0	12	5	2	1	4	6	36
Agencia Europea de Medio ambiente	0	1	0	0	3	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	4
ONU	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	2	0	0	0	0	0
European comission/EUROSTAT	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0
PMPGIR San José de Gracia	0	11	0	0	3	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Slovenian Environment Agency	0	0	0	0	10	0	0	2	0	21	16	0	0	0	0	0
ERSAR	5	5	6	0	0	5	0	10	1	8	9	3	0	2	1	0
EPA	1	1	0	0	3	0	0	0	0	14	3	0	0	1	0	0
FOE, Suiza	0	3	0	0	5	3	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0
MAGRAMA-España	1	0	1	2	10	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
OECD	0	0	0	0	3	0	0	0	0	10	7	0	0	0	0	0
FEMP-España	0	0	0	0	1	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
USAID, BID, BIRF, OPS	0	9	0	0	2	2	1	10	1	1	3	0	0	5	1	0
FEMP-España	0	8	0	0	1	3	0	4	0	4	1	0	0	0	0	0
SIDSA-Argentina	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
GIRSU-Argentina	3	5	7	0	0	1	0	1	0	3	1	3	1	6	1	4
CEPIS-OPS	1	26	3	0	2	0	8	19	4	1	7	5	0	9	0	2
BSWaMA, Belice	18	9	9	4	4	5	0	5	0	17	6	5	1	7	1	0
Kunitoshi Sakurai	0	12	0	0	1	0	2	5	0	0	1	2	0	2	0	0
UNEP/Calrecovery	1	20	0	0	14	15	1	16	0	15	7	6	2	6	0	0
UN-habitat	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	1	2	0	0	0	0
Wilson D.C, et. al.	1	2	0	1	3	1	0	2	0	1	2	2	0	0	0	0
ONU-DESA	0	0	0	0	3	0	0	1	0	3	3	0	0	0	0	0
JICA	0	1	0	0	0	0	0	5	6	3	4	0	0	0	0	0
Armijo, et. al.	0	2	0	0	0	1	0	4	0	2	1	5	0	0	0	0
Bringhenti, J.R. et. al.	0	8	0	0	0	4	0	5	0	3	0	1	2	2	0	0
Fragkou, M.C., et. al.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Guimaraes, B. et. al.	0	9	2	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	6	1	0
Hotta, Y. et. al.	2	0	1	0	2	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	1
Nicolli, F.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0
Zaman	2	6	4	2	6	3	0	3	0	7	5	1	1	5	10	1
Sartor, A.	0	1	1	1	1	0	0	2	0	3	1	1	0	1	1	3
Munizaga P., J.A.	1	3	0	0	0	6	0	5	0	9	8	2	0	2	0	4
TOTAL	49	204	46	14	104	64	25	156	20	219	130	57	12	85	22	56

recolectada y el *costo de mantenimiento* fueron los más habituales, ya que la recolección y todo lo relacionado generalmente representa el mayor gasto de los sistemas de gestión de residuos. Finalmente, la *recuperación de costes* fue encontrado en 23 de los grupos de indicadores, mostrando la importancia de evaluar la sustentabilidad financiera.

La menor cantidad de indicadores corresponde a: *Prevención y reducción* y *Aspectos educativos*, a pesar de que para dar cumplimiento a la jerarquía de la gestión de residuos, deberían ser los dos aspectos más importantes para evitar el vertido final de los residuos y el consecuente desaprovechamiento de recursos y contaminación. Sin embargo, ambos aspectos son más difíciles de medir en la práctica, por ser soluciones a largo plazo, interrelacionadas entre sí y que dependen directamente del conocimiento, conciencia y acción del generador del residuo (como se explica en [49]).

Adicionalmente, en muchos sistemas de gestión de residuos se priorizan aspectos más urgentes relacionados con la protección de la salud, asegurando la recogida, vertido y eliminación adecuada y segura de los residuos, dejando la *prevención y educación* para el final, una vez que se han solucionado estas prioridades (lo cual, aún no se logra en la mayoría de los países en desarrollo, por ejemplo).

Finalmente, los grupos de indicadores más restringidos son los propuestos por [46] y [37]. En el primer caso se plantea un indicador integrado basado en MFA (Material Flow Accounting), que incluye diversos aspectos técnico/operativos unificados. El segundo caso, son indicadores a nivel nacional, por lo que sólo están enfocados a la generación, composición y recolección de los residuos. Otros grupos que también abarcan aspectos limitados de la gestión son propuestas a nivel internacional o regional (ONU, EUROSTAT, OECD, FEMP, etc.) que, al igual que los dos casos mencionados, están enfocadas principalmente a generación y manejo de residuos sin entrar en detalles de operación o gestión económica (esto correspondería al nivel municipal).

Por otra parte, dos de los grupos de indicadores que más aspectos evalúan y que por lo tanto podrían considerarse más completos, son el de Abarca, *et. al.* [3], [4], y el de Zaman [47]. En el caso de [3], [4] si bien es probablemente el que incluye la mayoría de los aspectos de la gestión de residuos (a excepción de limpieza viaria), fueron propuestos originalmente como un cuestionario para ayudar a determinar los grupos de interés y los factores que influyen en el desempeño del manejo de residuos en las ciudades, y todos los indicadores son cualitativos. En el caso de Zaman, es una aproximación para evaluar sistemas de manejo de residuo cero, por lo que es muy incluyente en evaluar casi todos los aspectos de la gestión de residuos (a excepción de limpieza viaria y transferencia). El resto de grupos de indicadores que también abarca la mayoría de los aspectos de la gestión de residuos, son los del BSWaMA de Belice, de CEPIS-OPS, GIRSU de Argentina y de Guerrero *et. al.* también con algunas limitantes en su metodología de aplicación y cálculo. Por ejemplo, algunos de los grupos de mencionados, incluyen indicadores cualitativos, sin embargo son difíciles de evaluar por el tipo de respuestas utilizadas, o simplemente no se explica su significado (Muy mal; Mal; Bien; Muy bien; Excelente ó valores del 1 al 8 sin explicación ni clasificación alguna, entre otros). En el caso de otros indicadores cuantitativos, existen varios en lo que tampoco se explica su metodología de cálculo (Has. de ecosistemas productivos consumidos/Residuos Sólidos Domiciliarios generados).

Al realizar un análisis y síntesis de los 1263 indicadores, eliminando indicadores repetidos o similares quedarían solamente 250, donde, el que fue repetido en 88% de los grupos fue *cobertura del servicio de recolección* (repetido en 35 ocasiones). Analizando la tendencia de uso de este indicador, se puede llegar a concluir que es un modo sencillo de evaluar un sistema de gestión de residuos, ya que la recolección implica la *entrada* principal de residuos a dicho sistema; por lo que una cobertura de recolección al 100% teóricamente implicaría: a) que se ha ingresado todo el flujo de residuos al sistema, por lo tanto se asume que es eficiente y b) que se tienen controlados problemas de salud al no dejar residuos en vía pública, siendo la salud de la población una de las prioridades principales de la gestión de residuos. Sin embargo, este indicador se debe completar con frecuencia de recolección, especificar hacia dónde va el residuo una vez

recolectado (reciclaje o vertedero incontrolado, etc.) para que sea un indicador más fidedigno del estado actual de la gestión de residuos. En la tabla 3, se muestran algunos ejemplos de indicadores encontrados para cada aspecto de la gestión de residuos.

Tabla 3. Algunos ejemplos de indicadores analizados por cada aspecto de la gestión de residuos

Aspectos	Etapas	Indicador
Legal	-	¿Los procesos y procedimientos para formular, implementar y monitorear el impacto de la legislación son eficientes y transparentes? (Si/No).
Economía y financiamiento	-	Costo por tonelada recolectada (\$/tonelada).
Institucionales	-	¿Existen arreglos institucionales para la cooperación intermunicipal respecto al manejo de residuos sólidos? (Si/No).
Técnicos/ operativos	Prevención y reducción	Materiales prevenidos y recuperados (%).
	Generación	Generación per cápita (kilogramos/habitante/día).
	Manipulación, procesamiento y transformación en origen	Separación en origen (% de municipios que realizan separación en origen).
	Limpieza viaria	Cobertura de barrido de calles (%).
	Recogida y transporte	Cobertura del servicio de recolección (%).
	Transferencia y transporte	Eficiencia del personal de transferencia (toneladas/empledo).
	Manipulación, procesamiento y transformación fuera de origen	Proporción del flujo de residuo manejado con el método "t" (Mt= proporción).
	Eliminación	Porcentaje de residuos sólidos de la ciudad que se eliminan en un vertedero controlado (%).
Sociales	Temas sociales	¿Son efectivos los procedimientos para consulta y participación de stakeholders en los procesos de formulación de políticas y legislación? (Si/No).
	Educación	Número de campañas de sensibilización ciudadana sobre prevención realizadas (#/año).
	Temas laborales	Recursos humanos municipales totales, suma de municipal+contratado (Empleados por cada 10.000 habitantes).
	Otros	Relleno sanitario, presencia de vectores (Si/No).
Natural	-	Estética, contaminación visual (manipulación, acumulación, separación).

4. Conclusiones

A pesar de que los indicadores para la gestión de residuos se han utilizado durante más de 30 años, aún existen aspectos de mejora. *Primero*, no se han establecido claramente los vínculos para el flujo de información desde el nivel municipal hasta llegar a nivel regional o internacional, y la mayoría de los grupos de indicadores analizados (un 82%) ni siquiera fueron diseñados con el fin de compartir información entre los diversos niveles geográficos o gubernamentales. *Segundo*, ninguno de los grupos de indicadores analizados evalúan todos los aspectos de la gestión de residuos; a pesar de la variedad de grupos (40) y cantidad de indicadores estudiados (1263). Se encontraron mayores deficiencias en *prevención y minimización* de los residuos, así como en *aspectos educativos*. Por último, a pesar de que existen indicadores para todos los aspectos de la gestión de residuos, algunos simplemente se repiten de manera sistemática a lo largo de diferentes grupos de indicadores y otros, son difíciles de evaluar por las escalas de medición propuestas.

Esto deja de manifiesto, la necesidad de crear un sistema de sistema de indicadores, que cubra los aspectos mencionados. Por lo que se propone, para dar continuidad al presente trabajo, la propuesta de un sistema de indicadores que 1) evalúe la mayor cantidad de aspectos de la gestión de residuos, 2) que permita compartir información entre y dentro de los diferentes niveles geográficos, con el fin de incrementar la utilidad de los indicadores como herramienta para la mejora de la gestión de los residuos municipales.

Referencias Bibliográficas

- [1] M. L. MacDonald, "Bias issues in the utilization of solid waste indicators," *J. Am. Plan. Assoc.*, vol. 62, no. 2, p. 236, 1996.
- [2] M. (Oecd) Linster, "OECD Environmental Indicators: development, measurement and use," *SNUC - Sist. Nac. Unidades Conserv.*, vol. 25, no. 0, p. 37, 2003.
- [3] L. Abarca Guerrero, G. Maas, and W. Hogland, "Solid waste management challenges for cities in developing countries," *Waste Manag.*, vol. 33, pp. 220–232, 2013.
- [4] L. Abarca Guerrero, "A construction waste generation model for developing countries," Eindhoven University of Technology, Países bajos, 2014.
- [5] P. Tello Espinoza, E. Martínez Arce, D. Daza, M. Soulier Faure, and H. Terraza, "Informe de la evaluación regional del manejo de Residuos Sólidos Urbanos en America Latina y el Caribe, 2010," 2010.
- [6] UN-HABITAT, *Solid Waste Management in the world's cities*. Londres, Washington, 2010.
- [7] I. A. Khatib, "Municipal Solid Waste Management in Developing Countries : Future Challenges and Possible Opportunities," 2015.
- [8] G. Tchobanoglous, H. Theisen, and S. A. Vigil, *Gestión integral de residuos sólidos*, Primera., vol. I. Madrid: McGraw-Hill, 1994.
- [9] J. A. Munizaga P., "Metodología para la Evaluación Integral de Sistemas de Gestión de Residuos Domésticos," Universidad de Cantabria, Santander, España, 2016.
- [10] P. Schübeler, "UNDP/UNCHS (Habitat)/World Bank/SDC Collaborative Programme on Municipal Solid Waste management in Low-Income Countries Conceptual Framework for Municipal Solid Waste Management in Low-Income Countries," 1996.
- [11] D. C. Wilson, L. Rodic, M. J. Cowing, C. A. Velis, A. D. Whiteman, A. Scheinberg, R. Vilches, D. Masterson, J. Stretz, and B. Oelz, "'Wasteaware' benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities," *Waste Manag.*, vol. 35, pp. 329–342, 2015.
- [12] Cámara de diputados, «Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos,» 8 octubre 2003. [En línea]. Available: www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/7263.pdf. [Último acceso: 30 julio 2014].
- [13] M. S. Internacional, "'políticas ambientales municipales exitosas de gestión de residuos sólidos en américa latina y bolivia,'" 2009.
- [14] UE, "Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008 , sobre los RESIDUOS y por la que se derogan determinadas Directivas.," *Parlam. Eur.*, p. 28 pags. (43 artículos), 2008.
- [15] K. Sakurai, "Macro indicadores para gerencia del servicio de aseo," vol. Ciclo: Ger. OPS/HPE/CEPIS, p. 20, 1983.
- [16] United Nations Environment Program, "Integrated Waste Management Scoreboard: A tool to measure performance in municipal solid waste management," Brunei, Cambodia, Indonesia, Laos, Malaysia, Myanmar, Filipinas, Singapur, Thailandia y Vietnam, Varios (Región ASEAN), 2005.
- [17] Agencia para el desarrollo Internacional, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, and Organización Panamericana de la Salud, "Lineamientos metodológicos para la realización de análisis sectoriales en residuos sólidos," no. Serie Informes Técnicos No. 4. 1995.
- [18] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales and A. de C. T. Alemana, "Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos." México, p. 78, 2006.
- [19] Asociación Española de Normalización y Certificación, "UNE-ISO 37120." Madrid, España, p. 81, 2015.
- [20] Global Cities Institute, "Cities and sustainable infrastructure." Toronto y París, Canadá y Francia, p. 40, 2015.
- [21] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "Indicadores básicos del desempeño ambiental en México-SNIARN," 2013. [Online]. Available:

- http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/04_res_solidos/04_res_solidos_esquema.html. [Accessed: 23-May-2015].
- [22] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, “Indicadores clave. Residuos sólidos urbanos dispuestos sin control,” 2013. [Online]. Available: <http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/clave/clave04.html>. [Accessed: 23-May-2015].
- [23] E. Guerrero G. and C. Erbiti C., “Indicadores de sustentabilidad para la gestión de los residuos domiciliarios, Municipio de Tandil, Argentina,” *Revista de geografía Norte grande*, Santiago, Chile, pp. 71–86, 2004.
- [24] European Environment Agency, “Waste generation,” 2015. [Online]. Available: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/waste-generation-1/assessment>. [Accessed: 05-Jan-2016].
- [25] United Nations Statistics Division, “UNSD Environmental Indicators,” 2011. [Online]. Available: <http://unstats.un.org/unsd/ENVIRONMENT/qindicators.htm>. [Accessed: 06-Jan-2016].
- [26] E. comission. EUROSTAT, “Waste related indicators,” 2013. [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/key-waste-streams>. [Accessed: 06-Jan-2016].
- [27] R. Sánchez López and C. Hernández Median, *Programa municipal de prevención y gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos de San José de Gracia, Aguascalientes*, no. Tomo LXXII, Núm. 42. México: Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes, 2009, pp. 2–44.
- [28] Agencia Eslovenia de Medioambiente, “Municipal waste,” 2014. [Online]. Available: http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=653&lang_id=94. [Accessed: 07-Jan-2016].
- [29] The Water and Waste Services Regulation Authority, “Dados e indicadores do ciclo de avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores,” 2013. [Online]. Available: http://www.ersar.pt/Website_en/ViewContent.aspx?SubFolderPath=\Root\Contents\SiteEN\Menu_Main\Documentation\ERSAR_OtherDocuments&Section=Menu_Main&BookTypeID=41&FolderPath=\Root\Contents\SiteEN\Menu_Main\Documentation&BookCategoryID=. [Accessed: 08-Jan-2016].
- [30] U . S . Environmental Protection Agency, “Advancing sustainable materials management: facts and figures 2013 Fact Sheet,” Estados Unidos, 2015.
- [31] U . S . Environmental Protection Agency, “Advancing sustainable materials management: facts and figures 2013,” Estados Unidos, 2015.
- [32] Federal Office for the environment, “Indicators search,” 2014. [Online]. Available: <http://www.bafu.admin.ch/umwelt/indikatoren/14643/index.html?lang=en>. [Accessed: 11-Jan-2016].
- [33] Secretaría de estado de medio ambiente, “Programa Estatal de prevención de residuos 2014-2020.” Madrid, España, p. 48, 2013.
- [34] Organisation for Economic Cooperation and Development, “Municipal waste.” Varios, 2013.
- [35] Federación Española de municipios y provincias, “Nuevo marco para la gestión de los residuos municipales.” Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, 2010.
- [36] Federación Española de municipios y provincias, “Implantación de un sistema de costes en la administración local. Servicio de recogida, tratamiento y eliminación de residuos.” España, p. 30, 2008.
- [37] Ministerio de Ambiente y desarrollo sustentable, “Sistema de estadística ambiental de Argentina. Indicadores de Desarrollo Sustentable,” 2012. [Online]. Available: <http://estadisticas.ambiente.gob.ar/?idarticulo=13758#close>. [Accessed: 13-Jan-2016].
- [38] Ministerio de Ambiente y desarrollo sustentable, “Proyectos para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos con Financiamiento Internacional. Herramientas de gestión local. Monitoreo y evaluación.” [Online]. Available: <http://www.ambiente.gob.ar/?idarticulo=13350>. [Accessed: 13-Jan-2016].
- [39] F. A. Paraguassú and C. R. Rojas Rodríguez, “Indicadores para el gerenciamiento del servicio de limpieza pública.” Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima, Perú, p. 80, 2002.
- [40] Gobierno de Belice and Integrated Skills, “National solid waste management strategy & implementation plan,” Belice, 2015.

- [41] Gobierno de Belice and Integrated Skills, "National solid waste management policy," Belice, 2015.
- [42] United Nations Statistics Division, *Framework for the Development of Environment Statistics 2013*, no. June. 2015.
- [43] Agencia de cooperación Internacional Japonesa, "JICA Standard Indicator Reference for Grant Aid Projects," no. February, p. 63, 2015.
- [44] C. Armijo, A. Puma, and S. Ojeda, "A set of indicators for waste management programs," *2nd Int. Conf. Environ. Eng. Appl.*, vol. 17, pp. 144–148, 2011.
- [45] J. R. Bringhenti, E. Zandonade, and W. M. R. G??nther, "Selection and validation of indicators for programs selective collection evaluation with social inclusion," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 55, no. 11, pp. 876–884, 2011.
- [46] M. C. Fragkou, T. Vicent, and X. Gabarrell, "A general methodology for calculating the MSW management self-sufficiency indicator: Application to the wider Barcelona area," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 54, no. 6, pp. 390–399, 2010.
- [47] A. U. Zaman, "Identification of key assessment indicators of the zero waste management systems," *Ecol. Indic.*, vol. 36, pp. 682–693, 2014.
- [48] B. Guimarães, P. Simões, and R. C. Marques, "Does performance evaluation help public managers? A Balanced Scorecard approach in urban waste services," *J. Environ. Manage.*, vol. 91, no. 12, pp. 2632–2638, 2010.
- [49] Y. Hotta, "3R Policy Indicator Factsheets. Discussion Paper.," no. February, 2014.
- [50] P. Humano, "Informe sobre Desarrollo Humano 2014 Equipo del Informe sobre Desarrollo Director y autor principal," p. 19, 2014.
- [51] F. Nicolli. "Convergence of waste-related indicators of environmental quality in Italy. *Environ. Econ. Policy Stud.* (2012) 14:383-401
- [52] Sartor, A. (1998). "Los residuos, un componente a considerar en la sustentabilidad del sistema urbano. La complejidad de su gestión. Caso Bahía Blanca". Presentado y publicado en IV Seminario Latinoamericano de calidad Urbana. CIG-FHG. GEIA. UTN-FRBB.

Selección de un sitio para la instalación de un centro de procesamiento de residuos sólidos urbanos en Hidalgo

Jorge Emigdio Sánchez Polito, ²María Neftalí Rojas-Valencia, ³Juan Antonio Araiza Aguilar, ⁴Mabel Vaca Mier

Universidad Autónoma de México, Instituto de Ingeniería. Coordinación de Ingeniería Ambiental. Cd. de México. C.P. 04510. México D.F. Tel. +52 (55) 56233600 Ext. 8663. E-mail: *²nrov@pumas.iingen.unam.mx

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue obtener las áreas y puntos óptimos de ubicación para la instalación de un centro de procesamiento de residuos sólidos urbanos, tomando en cuenta requerimientos ambientales, técnicos y socioeconómicos con base en la normativa y los residuos generados en el estado de Hidalgo, para ser aprovechados como combustibles alternos por las cementeras a través del coprocesamiento evitando su disposición final y pérdida de materia prima.

La metodología se dividió en siete fases siendo las principales: la revisión de la normativa, ubicación de plantas cementeras y sitios de manejo de residuos sólidos urbanos mediante su georreferenciación por GPS y validación *in situ*, la proyección de residuos a 20 años, determinación del poder calorífico de los residuos y la determinación de la ubicación del sitio óptimo para instalar el centro de procesamiento empleando una evaluación multi-criterio y un análisis origen-destino.

Los resultados mostraron que la mayoría de los sitios de manejo de residuos y plantas cementeras se ubican principalmente en la zona suroeste de Hidalgo, el poder calorífico de las pacas que llegan a la planta cementera de CEMEX Huichapan en promedio es de 18.26 MJ/kg. La capacidad determinada con base en la proyección de residuos a 20 años fue de 2, 474 t/día. El resultado del análisis de la evaluación multi-criterio fue una superficie de 3, 123 km² de las áreas con una aptitud favorable. Se concluye que existen tres puntos óptimos de ubicación para la instalación del centro de procesamiento en Hidalgo determinados con base en el análisis origen-destino.

Palabras Clave: Centro de procesamiento, estado de Hidalgo, evaluación multi-criterio, residuos sólidos urbanos, sistemas de información geográfica.

1. Introducción

El estado de Hidalgo genera el 2% (equivalente a 1, 870 t/día) de residuos sólidos urbanos (RSU) del total que se genera diariamente en la República Mexicana (102, 000 toneladas), los cuales se generan principalmente en viviendas, parques, jardines y edificios públicos [1]. La infraestructura de manejo de RSU en el estado muestra una gestión tradicional, ya que la disposición se realiza en tiraderos abiertos, la mayoría de las veces, la recuperación de materiales aprovechables se hace por personas de muy bajos recursos económicos y en condiciones antihigiénicas, además comúnmente se práctica la incineración de residuos a falta del servicio de limpia en muchas de las localidades. Esta situación coloca al estado de Hidalgo en una posición no muy favorable en el manejo y aprovechamiento de los RSU frente a otros estados de México [2].

La problemática en el estado de Hidalgo en materia de residuos sólidos se origina principalmente por la inadecuada separación, la incipiente cultura ambiental, la resistencia social a la construcción de infraestructura de manejo y aprovechamiento de RSU y los insuficientes recursos económicos para la instalación de dicha infraestructura. El estado está conformado por 84 municipios con 4,596 localidades y con una población de 2, 826, 650 habitantes. La composición promedio en porcentaje de los residuos generados en Hidalgo está compuesta por: 34% son de tipo orgánico (residuos de alimentos y de jardinería), 30% son residuos valorizables (cartón, tetra-pack, metales, papel, plástico, vidrio, PET, PEAD, entre otros)

y el 36% por residuos no valorizables (básicamente son pedacerías de materiales diversos como plásticos, hules, papel sanitario, pañales, cartón y textiles) [3].

El principal obstáculo, para la gestión adecuada de los RSU, tiene que ver con el requerimiento de infraestructura de manejo de residuos, que de acuerdo a sus características físicas y químicas puedan ser susceptibles de ser aprovechados. Allí surge la necesidad de construir infraestructura para las diferentes actividades en la cadena de gestión de los residuos, que incluye centros de acopio, plantas de selección, centros de procesamiento y sitios de disposición final que operen adecuadamente con base en la normativa.

Paralelamente al manejo y aprovechamiento de residuos, el concreto es el segundo material más consumido en el mundo después del agua, siendo su principal componente el cemento, el proceso de fabricación de cemento demanda un uso intensivo de combustibles, desde el año 2011 la empresa cementera CEMEX se dio a la tarea de buscar y crear en México una nueva fuente alterna de combustible, con la finalidad de ahorrar energía y reducir las emisiones de gases a la atmósfera, esa fuente alterna de combustible la encontró en la Fracción Inorgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FIRSU) que generan las áreas urbanas y rurales del país. Para generar dicha energía se necesita separar los residuos, (especialmente los que tengan un alto poder calorífico), o cualquier material combustible derivado de los RSU, mediante un CP-RSU, para ingresarlos a un tratamiento térmico, en particular el coprocesamiento, el cual es de interés principal para las cementeras.

Los residuos sólidos denominados “FIRSU” se componen principalmente por trozos de plásticos, hules, textiles, madera, papel y cartón, los cuales ya no conservan las propiedades que los harían susceptibles de ser reciclados; estos desechos se someten previamente a un proceso de separación y posteriormente a uno de compactación y enfardado, para generar las pacas FIRSU, que pueden ser aprovechadas como combustible alterno en los hornos cementeros o en cualquier otra industria que los requiera, sustituyendo combustibles primarios, derivados del petróleo.

En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo principal determinar la ubicación del sitio óptimo para la instalación de un CP-RSU en el estado de Hidalgo para lograr mitigar los impactos ambientales negativos de la inadecuada gestión de los residuos, para promover el reúso, reciclaje y otra valorización que se le pueda dar a los RSU para ser utilizados como una fuente de combustible alternativo a través del coprocesamiento evitando su disposición final y pérdida de materia prima.

2. Metodología/Desarrollo

La metodología de este trabajo se dividió en dos etapas, en la primera se realizó básicamente un trabajo de gabinete y en la segunda un trabajo de campo, esta dos etapas a su vez se subdividieron en siete fases: en la primera fase se revisó la normativa y el estado del arte relacionado con el manejo integral de los RSU, aplicable en México y en el estado de Hidalgo; en la segunda fase se investigó bibliográficamente los sitios más representativos encargados del manejo de los RSU, así como los clientes potenciales para el consumo de la FIRSU, principalmente las cementeras, dentro del estado de Hidalgo; en la tercera fase se identificó y cuantificó los diferentes tipos de residuos con alto poder calorífico que puedan ser empleados como combustible alterno en las cementeras o en cualquier otra industria que lo requiera, así mismo los residuos que puedan ser destinados para su óptimo reciclaje o que se les pueda dar otro tratamiento; en la cuarta fase se realizó un análisis bibliográfico y visitas técnicas para hacer propuestas de distribución de la infraestructura y las diferentes tecnologías y equipos que se requieren para instalar el CP-RSU; en la quinta fase se realizó la validación in situ y la georeferenciación de los sitios de manejo integral de RSU que proporcionarán los residuos al CP-RSU, así como las plantas cementeras que pudieran ser clientes potenciales para el consumo de la FIRSU; en la sexta fase se elaboró una proyección a 20 años para asegurar la capacidad de recibir los RSU que lleguen al CP-RSU y con base en esto se determinó el diagrama de proceso, la infraestructura y la inversión que se requiere para su instalación; y por último en la séptima fase se generaron las áreas factibles de ubicación del CP-RSU con base en una Evaluación Multi-Criterio (EMC)

tomando en cuenta criterios ambientales, socioeconómicos y técnicos; a partir de estas áreas se analizó el sitio óptimo donde se llevará a cabo su instalación en términos logísticos y económicos a través de un modelo de transporte (análisis origen-destino) para optimizar las rutas de transporte de los vehículos y camiones recolectores. En la Figura 1 se presenta un diagrama de flujo de la metodología.

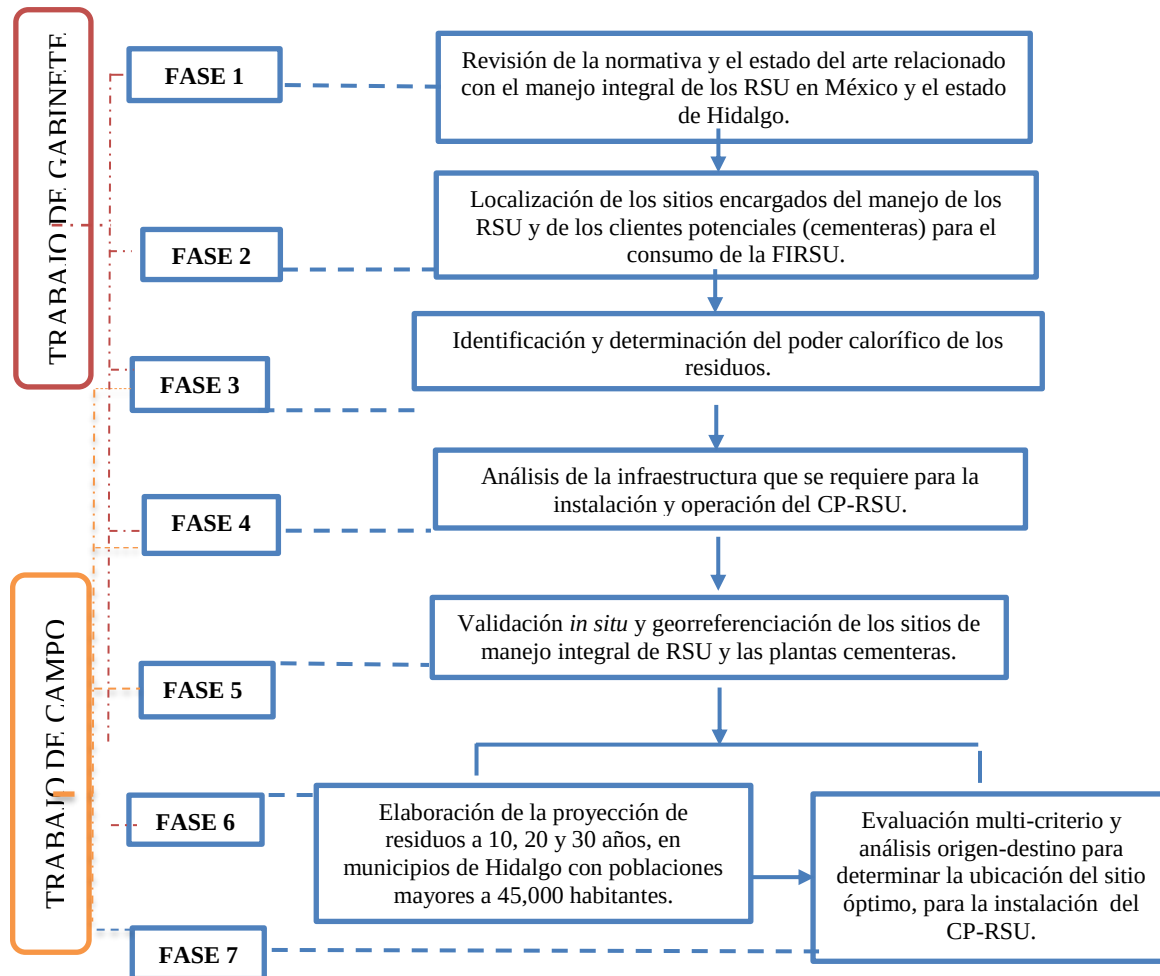


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología

3. Resultados

3.1 Infraestructura de gestión y aprovechamiento de RSU

La mayoría de los sitios de manejo de residuos y las plantas cementeras del estado de Hidalgo se encuentran en la parte suroeste, este fue un primer criterio que se consideró en la delimitación del área de estudio para proponer la ubicación óptima del centro de procesamiento de RSU.

3.2 Valorización energética de los residuos sólidos como combustibles alternativos

Los combustibles alternativos son una pieza fundamental de la estrategia de energía y reducción de emisiones en diversas cementeras en México principalmente en CEMEX y HOLCIM, las cuales buscan reducir su impacto ambiental y maximizar la contribución de sus plantas a la sociedad. Los combustibles alternativos generan beneficios al ambiente, entre ellos: disminuir el uso de combustibles fósiles

convencionales no renovables, proporcionar una solución ordenada, final y ecológicamente responsable para disponer los residuos, evitando la saturación de los rellenos sanitarios, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y principalmente su aprovechamiento energético.

En su mayoría, los combustibles alternativos son residuos agrícolas o subproductos de los procesos industriales, domésticos, agrícolas y forestales, incluyendo neumáticos y aceites usados, FIRSU sometida a procesamiento, biomasa como cascarilla de arroz y cáscara de café, lodos de depuradoras, entre otros.

3.3 Coprocesamiento en hornos cementeros

El proceso de fabricación de cemento es un proceso con un consumo intensivo de energía, debido fundamentalmente a las altas temperaturas que es necesario alcanzar para el correcto desarrollo del mismo, la energía que se utiliza es a partir de combustibles fósiles.

El consumo energético va a depender de las materias primas empleadas, sobre todo de la tecnología y del sistema de alimentación empleados, ya que los sistemas de alimentación por vía húmeda necesitarán evaporar el agua introducida con las materias primas. En estas circunstancias el consumo de combustibles en el horno rotatorio de clínker se sitúa entre 700 y 1,300 kcal/kg de clínker (3,000 a 5,500 MJ/t), lo que equivale a 100 y 185 kg de coque por tonelada de cemento. Tradicionalmente esta energía se ha suministrado mediante distintos combustibles fósiles, como coque de petróleo, carbón, fueloil y gas natural [4].

Ciertos residuos también pueden ser utilizados como combustibles en los hornos cementeros como combustibles alternativos. Por medio del coprocesamiento del residuo en la que se recupera el calor de combustión. Se aprovecha, por tanto, el poder calorífico contenido en los residuos. El coprocesamiento es un tratamiento térmico en el cual se pueden aprovechar los RSU como fuente de energía, sustituyendo cierta cantidad de recursos minerales naturales y combustibles fósiles.

En el coprocesamiento se aprovecha la energía y los minerales que están presentes en los residuos, debido a las altas temperaturas (aproximadamente 2,000 °C), el tiempo de residencia de los gases a altas temperaturas es mayor a 5 segundos, se genera un proceso de auto limpieza de los gases debido a una atmósfera alcalina, logrando que las cenizas se integren al proceso de fabricación de cemento [5].

Antes de emplear combustibles alternativos, es necesario someterlos a un procesamiento para tener limitado el contenido en determinados elementos como materia orgánica, cloro, metales pesados, entre otros; garantizando de esta forma que no se perjudicará al propio proceso, ni a la calidad del producto final, ni al ambiente. Así mismo se debe efectuar una valorización energética y a una estricta validación de calidad.

3.4 Poder calorífico de los RSU

Los residuos son una fuente de energía importante cuyo valor energético puede explotarse a través de procesos térmicos como la incineración y el coprocesamiento o el aprovechamiento del biogás proveniente de rellenos sanitarios y digestores anaerobios.

Un factor importante para la generación de energía a partir del tratamiento de los RSU es el contenido energético o poder calorífico, el cual indica la cantidad de calor que puede entregar un cuerpo, para así saber si el residuo es apto para producir energía o sólo consumirá una mayor energía y hará que el proceso sea menos rentable.

Debido a esto, los tratamientos térmicos deben ser siempre acompañados de un pre-tratamiento o procesamiento de los RSU, esto con el fin de obtener la fracción de los residuos de interés. El objetivo de este acondicionamiento de materiales es el de ingresar el mayor porcentaje de residuos que cumplan con los requerimientos del tratamiento. Los residuos gozan de una ventaja económica con respecto a muchos

recursos de biomasa debido a que periódicamente su recolección se realiza con fondos públicos, a través de una infraestructura establecida, por una industria con experiencia en el transporte, la manipulación y el procesamiento de diversos flujos de residuos sólidos. Las tecnologías modernas para la obtención de energía a partir de residuos y para la recuperación del biogás de rellenos sanitarios están desarrolladas, no afectan al medio ambiente y han sido aplicadas con éxito en muchos países, si son llevadas a cabo en condiciones controladas de seguridad.

El contenido energético puede variar dependiendo del residuo. Sin embargo, no es solo el poder calorífico el que cuenta, sino también el contenido de mineral del residuo (ceniza), que puede ser utilizado como materia prima alternativa en la producción de clínker (producto de la calcinación en el horno de arcilla y caliza que se tritura para fabricar el cemento). Una fuente importante de material utilizado en el coprocesamiento son los RSU, en especial la fracción inorgánica. La combustión de los RSU consigue una reducción del volumen entre 85 y 90% y la ceniza de RSU se utiliza como materia prima para la producción de clínker de cemento [6].

La mayoría de los RSU pueden ser utilizados en los hornos como opción de combustible debido a que su valor calorífico mínimo es de 10.70 MJ/kg, inferior al de los combustibles de usos común, pero cabe señalar que es importante tomar en cuenta la relación poder calorífico respecto a su volumen. En la Tabla 1 se muestra una comparativa de los valores más representativos de poder calorífico, tanto de los combustibles fósiles de uso común como de los residuos según se recolectan [6].

Tabla 1. Valores de poder calorífico de los RSU según se recolectan respecto a combustibles fósiles

Combustible	Poder calorífico (MJ/kg)	Residuo según se recolectan	Poder calorífico (MJ/kg)
Coque	33.488	Plásticos mezclados	32.70
Gas natural	48	Cartón	26.20
Combustóleo	44	Textiles	18.30
Hulla	29	Papel mezclado	15.70
Lignito	20	RSU	10.70
		Alimentos mezclados	4.20

La composición de los RSU varía considerablemente en función de la localización de su recolección en el mundo, y por lo tanto, también su poder calorífico. En los países en vías de desarrollo, la fracción de los residuos que consiste en materiales fabricados, como el papel, los metales, plásticos y vidrio, es relativamente pequeña, lo que significa que el porcentaje de restos de comida es alto, generalmente por encima del 40%. Puesto que los residuos de alimentos tienen una densidad energética baja, el poder calorífico de los RSU en los países en vías de desarrollo tiende a ser menor que el de los países más industrializados [8].

La revisión bibliográfica se complementó haciendo análisis a muestras de pacas FIRSU que llegan a la planta cementera de CEMEX en Huichapan, Hidalgo. Se aplicó el método de cuarteo para obtener 1.0 g de muestra compuesta de la FIRSU y analizar su poder calorífico.

Se tomaron cinco muestras de diferentes pacas, en los meses de julio y septiembre, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 2. Se analizó que su poder calorífico es variable debido a los diferentes tipos de residuos que pueden contener la muestra seleccionada y las condiciones climáticas que predominaron en la zona. El promedio de los valores durante los dos meses fue de 18.256 MJ/kg.

Tabla 2. Resultados del análisis del poder calorífico a muestras de pacas FIRSU

Fecha	PC (cal/g)	PC (MJ/kg)

03-Jul-15	4300	18.00
06-Jul-15	4104	17.18
10-Jul-15	4316	18.07
18-Sep-15	4850	20.31
21-Sep-15	4232	17.72

3.5 Sistemas de proceso para generar las pacas FIRSU

Los sistemas de proceso fueron diseñados para ser colocados en lugares estratégicos considerando aspectos ambientales, sociales y económicos. Se pueden tener plantas móviles o fijas, las plantas móviles se instalan por un tiempo determinado en el origen de los materiales a utilizarse como combustibles alternativos, llevando a cabo el saneamiento de un sitio específico, uno tras otro. Los sistemas de proceso fijo permiten mejores prácticas en la gestión de RSU para generar un mejor aprovechamiento de los residuos en diferentes áreas, como el reciclaje y como combustibles alternativos en los hornos cementeros.

Para llevar a cabo el procesamiento de los RSU que se generan en el estado de Hidalgo. Primeramente los residuos son transportados de diferentes sitios de manejo y disposición o desde los mismos centros de población generadores a través de camiones recolectores, posteriormente son depositados en una fosa de recepción y se colocan en una tolva para ser transportados y procesados mediante dos líneas de selección a diferentes equipos de reducción, separación y compactación. El procesamiento inicia con una pre-trituración por equipos rompe bolsas, después mediante trommeles se separa la mezcla de materiales orgánicos fermentables y otra de no fermentables, conocida como fracción inorgánica, la cual se somete a una selección manual para separar los residuos reciclables (PET, cartón, vidrio, metal, piel, papel, madera, etc.), los cuales son separados y compactados para ser transportados a empresas de reciclaje o centros de acopio. Por otra parte de la fracción inorgánica remanente (rechazo) se separan mediante separadores magnéticos los residuos ferrosos que todavía pudieran permanecer en la línea de selección. Por último la FIRSU de rechazo se compacta y se envuelve con película de plástico extensible para formar pacas que optimicen su manejo y transporte a las cementeras.

La capacidad del CP-RSU en 20 años con base en la proyección y composición de los residuos que se generan en Hidalgo es de 2, 474 t/día y requeriría una superficie total de aproximadamente dos hectáreas para la instalación de su infraestructura. La operación de los equipos y el personal de trabajo serán de 120 t/h empleando dos líneas de selección y 20 horas de trabajo al día divididas en 2 turnos. El precio total estimado del montaje y puesta en marcha de cada uno de los equipos fue de \$ 62, 388, 558.00 MXN. La oferta económica se realizó junto con la empresa MASIAS RECYLING de España.

3.6 Evaluación y selección del sitio óptimo para la instalación del CP-RSU

En diversas zonas de México existe infraestructura para la gestión de RSU, sin embargo, en su gran mayoría operan en condiciones inadecuadas, provocando riesgos a la salud y daños al ambiente, motivado esto por la falta de un marco jurídico y técnico adecuado en los estados de la república y en otras ocasiones su funcionamiento es ineficiente debido a que no se realizó una evaluación que permitiera determinar la ubicación óptima en términos ambientales, técnicos y económicos.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas que constituyen un importante elemento de apoyo en las tareas de generación de mapas, planificación ambiental y ordenamiento del territorio. Dichas herramientas son importantes pues además de permitir manipular variables ambientales y técnicas, incorporan procedimientos basados en los SIG con información georreferenciada, y la toma de decisiones se fortalece con la opinión y validación de expertos en el desarrollo y aplicación de la información por medio de diferentes técnicas [8].

Existen experiencias previas en México como en otras partes del mundo en las que se han empleado procedimientos con las herramientas de SIG para lograr la ubicación de lugares destinados a la construcción de estaciones de transferencia [9] y centros de aprovechamiento de residuos [10]; sin embargo, no se han empleado en la ubicación de sitios óptimos para la instalación de un CP-RSU.

3.7 Evaluación multicriterio para determinar las áreas con alta aptitud para la ubicación del CP-RSU

Para la evaluación de criterios de localización, existen diversas metodologías, no solo para identificar áreas potenciales para el manejo de RSU, sino para la localización de otro tipo de infraestructuras como hidroeléctricas, puertos, carreteras, entre otros. Una de las metodologías mayormente empleadas, son las llamadas de Evaluación Multi-Criterio (EMC) que utilizan para su aplicación los SIG [11]. La EMC la conforma un conjunto de operaciones para la adopción de decisiones, considerando simultáneamente varios criterios o condicionantes. El método propuesto facilita el establecimiento de grados de adecuación y la ponderación diferencial de los criterios en la decisión final. La EMC en el entorno de un SIG implica utilizar datos geográficos, y la manipulación de la información de acuerdo con reglas de decisión definidas. Además, se deben considerar indicadores vinculados con criterios ambientales y técnicos regulados por la normatividad [12]. Para la aplicación de esta metodología, se requiere realizar una selección inicial de las zonas de mayor interés, descartando previamente las áreas que por disposiciones legales, técnicas o logísticas que se encuentren restringidas para soportar este tipo de infraestructura. Teniendo delimitada el área de estudio, se procede a evaluar la zona mediante la aplicación de variables ambientales, técnicas y socioeconómicas que permiten clasificar dentro de una macro zona, pequeñas áreas con aptitud alta para instalar el CP-RSU.

3.8 Descripción del área de estudio

El área de estudio del presente trabajo es la región sur del estado de Hidalgo, previamente se realizó la localización y georreferenciación de los principales sitios de manejo de residuos, así como de las plantas cementeras, se determinó que todos se encuentran en la región sur del estado, con base en esto se delimitó el área de estudio. La entidad hidalguense se ubica en la porción del altiplano central del país, a tan sólo 65 km al noreste del núcleo poblacional y económico más importante de la República Mexicana: la Ciudad de México, cubriendo una superficie cercana a los 21, 000 km², los cuales representan 1.10% del territorio nacional [13].

Un dato de sumo interés es que los municipios que forman parte del área de estudio delimitada se caracterizan por tener el mayor número de comunidades urbanas y de habitantes (Pachuca de Soto, Tulancingo de bravo, Mineral de Reforma, Tula de Allende, Tizayuca, Ixmiquilpan, Tepeji del Río de Ocampo, Cuauhtepac de Hinojosa y Actopan), así como la mayor generación de residuos.

3.9 Enfoque y desarrollo de la EMC en el entorno de los SIG

El enfoque consistió en la aplicación de una de las técnicas de EMC de mayor estudio, denominada “Proceso de Análisis Jerárquico” (PAJ). Para determinar un conjunto de áreas preliminares aptas en donde se pueda ubicar el CP-FIRSU. Se seleccionó esta técnica principalmente porque permite identificar las partes que conforman el sistema así como sus vínculos, reconoce el peso de cada una de las partes y propone una solución racional.

Satty creador de la técnica, indica que el PAJ consiste en dividir un problema o situación compleja en sus partes o variables que la componen, realizando un arreglo en orden jerárquico, para después asignarles valores numéricos a juicios subjetivos sobre la importancia relativa de cada parte o variable, con el fin de sintetizarlos para determinar cuáles tienen la mayor prioridad [14].

Antes de llevar a cabo la aplicación de cualquier técnica EMC en el entorno de un SIG, es importante establecer los criterios que incidirán sobre la capacidad de recepción del territorio [15]. Los criterios de

localización (criterios generales) utilizados en el presente trabajo fueron divididos en tres: ambiental, socioeconómico y técnico. A su vez los denominados criterios generales fueron fraccionados en criterios específicos y acomodados en dos vertientes: “factores y limitantes”, siendo los “factores” aquel tipo de variable que debe de tener más de dos categorías o niveles, mientras que los “limitantes” solo pueden tener como máximo dos.

3.10 Ponderación y normalización de criterios

Para realizar la ponderación de los criterios generales y específicos (Pcg y Pce) se empleó la comparación por pares desarrollada por Satty [14], a la cual se le hizo una modificación para no emplear directamente la escala de importancia relativa con valores de 1 a 9, sino más bien una escala porcentual.

Para la normalización de los niveles o categorías en los criterios específicos se aplicó una ponderación simple de valores que va de 1 a 3 para los factores y de 0 y 1 para los limitantes; en donde los valores más pequeños equivalen a la condición más desfavorable o limitante, mientras que los valores más altos equivalen a la condición más favorable.

En la Figura 2 se muestran los mapas obtenidos que fueron la base para desarrollar la EMC, por otra parte también se aprecia el resultado del mapa final, obtenido mediante la sumatoria de los diversos mapas de cada uno de los criterios (generales y específicos) mostrando la zona de estudio clasificada en tres niveles, con base en el grado de aptitud para la instalación el centro de procesamiento RSU. La ponderación de los criterios generales se determinó mediante la consulta con expertos en evaluaciones multi-criterio, tomando en cuenta que el criterio socioeconómico es el que tiene un mayor impacto para permitir la instalación de infraestructura para la gestión de RSU en México, así mismo se consideró el criterio ambiental como en segundo nivel de importancia y por último pero no menos importante el criterio técnico.

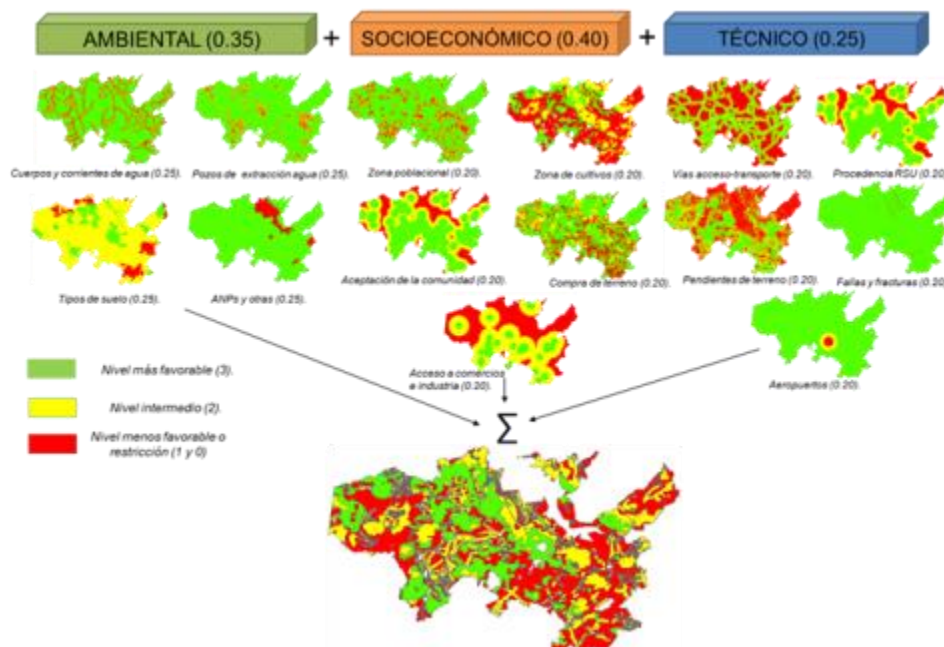


Figura 2. Mapas temáticos y final del desarrollo de la EMC

Una superficie de 3, 122 km² de la zona de estudio tiene una aptitud alta, principalmente se concentran en un radio de entre 20 a 30 km en la parte norte y noroeste a partir del límite de la capital del estado (Pachuca, Hidalgo). Existen otras áreas más pequeñas con la misma categoría de aptitud, aunque deben ser analizadas de una manera más puntual para determinar su viabilidad.

Una atención especial merece la región no sombreada con ninguna tonalidad (nivel restrictivo) en la parte norte del área de estudio, la cual fue descartada de inmediato por la técnica de EMC, ya que corresponden a zonas de importancia natural y algunas más pequeñas donde se localizan considerables manchas urbanas de población.

3.11 Selección del sitio óptimo de instalación del centro de procesamiento FIRSU mediante un análisis origen-destino

El transporte de los RSU es uno de los aspectos más importante a considerar para analizar la factibilidad económica y la optimización en su gestión (recolección, transferencia, tratamiento y disposición final), en cualquier zona de estudio que se requiera emplazar infraestructura de gestión de RSU, es necesario realizar un análisis origen-destino que permita determinar la ruta óptima para el transporte que genere el menor costo.

3.12 Determinación de los sitios de ubicación óptima

Para desarrollar el análisis origen-destino primeramente se realizó la georreferenciación de las plantas cementeras y los principales sitios de disposición de RSU (rellenos sanitarios municipales y regionales) que se encuentran actualmente en operación en Hidalgo, empleando un GPS. Posteriormente se ubicaron 21 puntos de ubicación óptima preliminares con base en las áreas con una alta aptitud favorable determinadas por la EMC y empleando el software de SIG, ArcGis 10.2.2 (véase Figura 3). De estos 21 puntos se descartaron cinco puntos quedando finalmente solo 16, debido a que la distancia a la red carretera era mayor, lo cual implicaría un mayor costo de inversión en el camino de acceso para llegar al CP-RSU.



Figura 3. Puntos óptimos de ubicación preliminares

Es importante mencionar que los 16 puntos de ubicación óptima que se consideraron fueron seleccionados previamente analizando los espacios viables de terreno mediante el programa Google Earth a partir de las áreas con una alta aptitud favorable, verificando mediante imágenes satelitales que no existieran zonas poblaciones cercanas o algún otro tipo de infraestructura que no permitiera llevar a cabo la instalación del CP-RSU. Así mismo se consideraron la ubicación y las distancias de los orígenes (sitios de manejo de RSU) a los destinos (plantas cementeras) debido a que el costo del transporte es el que tiene un mayor costo en el

manejo de los RSU y a la vez poder lograr incrementar la eficiencia logística en el sistema de transporte de los residuos.

Una vez teniendo ubicados los 16 puntos óptimos, los sitios de manejo de RSU y las plantas cementeras, el análisis se dividió en dos fases. La primera consistió en medir cada una de las distancias y determinar la ruta más corta de los sitios de manejo de RSU (origen) a los puntos de ubicación óptima (destino). La segunda fase se efectuó de los puntos óptimos (origen) a las plantas cementeras (destino). Por último, se multiplicaron las distancias por el costo del transporte de los residuos (flete), siendo el mismo tanto en el transporte de residuos a granel como residuos procesados (pacas FIRSU). Es importante mencionar que la diferencia principal del transporte de los residuos radica que en un viaje con residuos compactados (pacas FIRSU) carga más material que un viaje de residuos a granel, por lo que es de esperar que el costo por kilogramo de residuos compactados sea menor.

Finalmente se obtuvieron tres puntos óptimos para la instalación del CP-RSU, que se determinaron mediante el análisis origen-destino. El primer punto se ubica a las afueras de Pachuca en la región Este, el segundo se ubica en la región Oeste igualmente a la afueras de la capital y el tercer punto se ubica aproximadamente a 14 km al norte del municipio de Huichapan, en la región Oeste del estado de Hidalgo. En la Figura 4 se muestran la ubicación de los tres puntos óptimos.

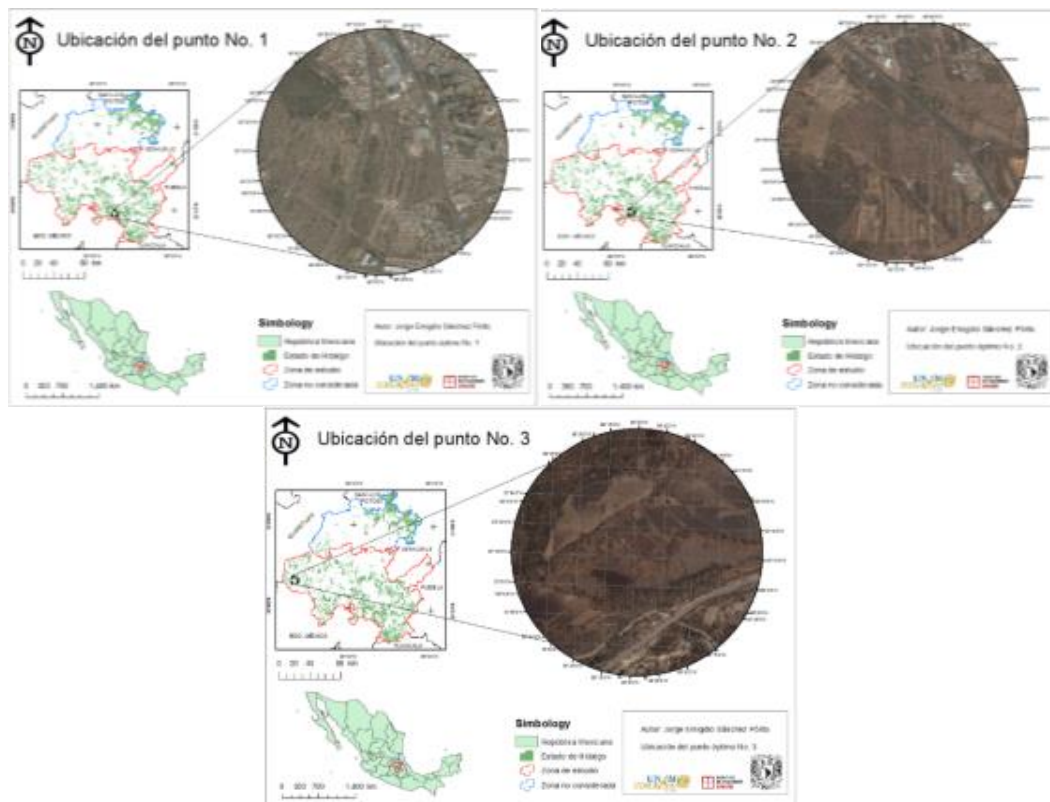


Figura 4. Ubicación de los tres puntos óptimos de ubicación

4. Conclusiones

Los centros de manejo integral para proporcionar los RSU al CP-RSU se localizan en la región sur del estado, así como las plantas cementeras.

Los residuos con alto poder calorífico generados en Hidalgo son: plásticos, hules, textiles, papel y cartón y mezclas de los mismos; de estos una fracción será aprovechada por medio del reciclaje y el rechazo será aprovechado como combustible alterno.

La infraestructura propuesta para la instalación del CP-RSU estará conformada por: área de recepción y transporte, área de separación, área de selección manual y área de compactación y enfardado.

A través de la ubicación por medio del GPS y la validación in situ de los sitios factibles en términos de operación y capacidad que proporcionarán los RSU al CP-RSU son: rellenos sanitarios regionales y municipales, TCA y plantas de separación; los clientes potenciales para el consumo del combustible alterno FIRSU son las plantas cementeras de CEMEX en Huichapan y Atotonilco.

La proyección de población y residuos a 20 años fue la base para calcular la capacidad y la inversión para realizar la propuesta de instalación del CP-RSU.

Las áreas obtenidas por medio de la EMC con una aptitud favorable en términos ambientales, socioeconómicos y técnicos para la ubicación del CP-RSU se encuentran en la región oeste del área de estudio y cercanas a los municipios con mayor generación de residuos y plantas cementeras, a partir de estas áreas se determinaron tres sitios óptimos para su instalación con base en el análisis origen-destino.

5. Referencias

- [1] INECC (2012). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Diagnostico Básico para la Gestión Integral de Residuos. http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcnica/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf
- [2] Sánchez O. (2007). Gestión integral de residuos sólidos urbanos en los municipios de Actopan, San Salvador y El Arenal del estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones Químicas., pp. 25-33.
- [3] PEPGIR de Hidalgo, 2011. Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en el Estado de Hidalgo, pp. 14 - 30.
- [4] Cedano L. (2012). Valorización energética de residuos como combustibles alternativos en plantas cementeras. Universidad Politécnica de Valencia. España, Valencia, pp. 71-81.
- [5] Rojas-Valencia y Marín M. (2014). Gestión y coprocesamiento de residuos sólidos urbanos”, *Revista IC Ingeniería Civil de ingeniería y ciencias ambientales*, No. 545, pp. 20-23.
- [6] Choy, H., Ko, K., Cheung, H., Fung C., Hui, W., Porter F. y McKay, G. (2004). Municipal solid waste utilization for integrated cement processing with waste minimization, A Pilot Scale Proposal. *Process Safety and Environmental Protection*, 82(B3) pp. 200–207.
- [7] Masters Gilbert M. & Ela Wendell P. (2008). *Introducción a la ingeniería medioambiental*, 3er edición, PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, pp. 681-690.
- [8] Olivas U., Valdez J., Aldrete A., González M. y Vera G. (2007). Áreas con Aptitud para establecer Plantaciones de Maguey Cenizo: definición mediante Análisis Multicriterio y SIG, *Revista Fitotecnica Mexicana*, 30(4) 411-419.
- [9] Araiza J. (2014). Emplazamiento de Estaciones de Transferencia de Residuos Sólidos Urbanos empleando herramientas SIG: un Caso de Estudio, *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 7(2), 78-86.
- [10] Roé S., Rojas-Valencia y Torres R. (2014). “Location of a site appropriate for building a waste management center urban solid by three methods”, *Journal AIDIS of Engineering and Environmental Sciences: Research, development and practice*, Vol. 7, No. 2, pp. 141-153.
- [11] Herrera B. (2014) Identificación de áreas potenciales para el manejo de residuos o desechos peligrosos en el departamento de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, Colombia, pp. 13-16.

- [12] De Pietri D., Dietrich, P., Mayo P. y Carcagno A. (2011) Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina. *Revista Panam Salud Publica*. Vol. 30, No. 4, pp. 377-387.
- [13] INEGI (2013). Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/anuario_multi/2013/hgo/AEyGHGO13.pdf
- [14] Saaty T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- [15] Gómez M. y Barredo J. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio*, 2a ed. actualizada, Editorial RA-MA, Madrid, 276 pp.

Análisis multicriterio espacial de zonas idóneas para la construcción de rellenos sanitarios en Jalisco bajo normativa oficial mexicana

¹ Omar Alejandro Martínez Cázares, ² Daniel Tessier Newton

¹ Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), Periférico Sur Manuel Gómez Morín 8585, Tlaquepaque, Jalisco, (04433)3-5808449, ab687631@iteso.mx

² Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO)

Resumen

El presente documento se adentra en el análisis espacial de zonas adecuadas para el posicionamiento de sitios de disposición final futuros y actuales dentro del estado de Jalisco con base en la NOM-083-SEMARNAT-2003; utilizando la aplicación de los sistemas de información geográfica para elaborar álgebra de mapas y análisis espacial que permitieran integrar 20 variables restrictivas establecidas en normativa dentro de los mapas en un modo visualmente fácil de discernir y examinar para el interesado.

El análisis multicriterio realizado utiliza como referencia las restricciones impuestas por la NOM-083-SEMARNAT-2003 e información espacial obtenida en diversas fuentes oficiales.

Los resultados arrojan numerosas áreas aptas para la colocación de un sitio de disposición final, destacando una mayor densidad cerca de la costa de Jalisco, la zona norte en los límites con el estado de Zacatecas, y la noreste en límites con Aguascalientes y Guanajuato. Para el caso del centro del estado, cerca de la zona metropolitana de Guadalajara, se observan puntos escasos con una mayor presencia al norte de Zapopan. Adentrándose en Guadalajara, se comprueba la ubicación no ideal de sitios como Los Laureles y La Guancha. Se encuentra, además, que los municipios con el mayor porcentaje de idoneidad normativa son Talpa de Allende, Villa Purificación, Tomatlán, Mascota y Tecatitlán.

Con este estudio se concluye que Jalisco cuenta con una cantidad limitada de zonas idóneas bajo normativa mexicana para la construcción de rellenos sanitarios y que un profundo análisis espacial y ambiental previo a su elaboración resultará siempre inminente.

Palabras Clave: *Jalisco, Normativa, Rellenos, Residuos, SIG.*

1. Introducción

El estado de Jalisco cuenta en la actualidad con 185 sitios de destino final para residuos sólidos urbanos y de manejo especial; buscando así cubrir la producción de más de 1 millón 800 mil toneladas anuales generadas por los habitantes de la entidad (dato para el año 2013). Sin embargo, el funcionamiento óptimo, ecológico y el eficiente establecimiento de estos sitios de desecho final deben convertirse en una prioridad elemental para los tomadores de decisiones partícipes dentro de este rubro en el estado [1].

Aunado a lo mencionado, se expone que 76 localidades de las 108 totales en el estado depositan sus residuos en sitios no aptos, ya sea en terrenos al cielo abierto o en alguna otra ubicación no considerada propiamente como relleno sanitario [2]. El registro que más de la mitad de los presentes rellenos funciona fuera de la normativa mexicana coloca a este altercado ecológico en un mayor peldaño de relevancia. Según datos de la SEMADET, sólo 46 rellenos sanitarios funcionan correctamente y fueron contruidos de manera idónea; dejando así a 123 tiraderos con una alta necesidad de regularización y reubicación, con el fin de evitar daños medioambientales en flora, fauna y la salud pública general de sus zonas vecinas [3]. A continuación se presenta un mapa estatal con información acerca de los rellenos sanitarios que cumplen los requisitos establecidos en la NOM-083-SEMARNAT-2003 [4] en Jalisco:

Reellenos sanitarios que cumplen la norma 083



Tomando en cuenta la problemática establecida y buscando aplicar los aprendizajes adquiridos en la asignatura de Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica, se utilizaron los parámetros y especificaciones oficiales establecidas en la NOM-083-SEMARNAT-2003 para realizar un análisis multicriterio con el objetivo de destacar las zonas del territorio estatal normativamente idóneas para la construcción de rellenos sanitarios, y señalar si algún sitio ya presente se encuentra en una zona no adecuada en términos oficiales.

2.1. Restricciones

- Deberá estar alejado de cualquier cuerpo de agua (lagos, ríos, pantanos, marismas, manantiales, etc.) en una distancia de al menos 500 metros.
- No deberá ubicarse en una zona de inundación.
- No deberá ubicarse cerca de zonas y puntos arqueológicos.
- Deberá encontrarse a una distancia mínima de 13 kilómetros de cualquier aeropuerto, pistas o puntos aeroportuarios.

- Deberá ubicarse sobre suelo no permeable y sin presencia de fracturas o fallas geológicas.
- No deberá ubicarse dentro de Zonas Naturales Protegidas.
- Deberá construirse sobre terreno plano o con muy baja inclinación.
- No deberá encontrarse cerca de zonas de cultivo.
- Deberá ubicarse a una distancia mínima de 500 metros de localidades mayores a 2 500 habitantes.

2.2. Obtención de información espacial

Con base en las restricciones, a continuación, se enlista la información vectorial o Raster utilizada, con su respectiva fuente:

Escala 1:250 000:

- Áreas Naturales Protegidas (CONABIO). [5]
- División Estatal y Municipal de Jalisco (CONABIO). [5]
- Edafología Nacional (INEGI). [6]
- Sitios RAMSAR Nacional (CONANP). [7]
- Población de Jalisco (INEGI). [6]
- Uso de Suelo y Vegetación Nacional Serie V (INEGI). [6]
- Topografía de Jalisco (INEGI). [6]
 - Acueducto.
 - Aeropuertos, puntos y pistas aeroportuarias.
 - Caminos, calles, carreteras y vías férreas.
 - Cuerpos, corrientes de agua y manantiales.
 - Curvas de Nivel.
 - Localidades.
 - Pantanos.
 - Puntos y rasgos arqueológicos.
 - Terreno sujeto a inundación.

Escala 1:1 000 000:

- Fallas y Fracturas Nacional (INEGI) Escala 1:1 000 000. [6]
- Imagen LANDSAT de la ZMG para el año 2011 (USGS). [8]

2.3. Procesamiento de información

A continuación se presenta un diagrama que resume lo realizado para la elaboración del análisis multicriterio:

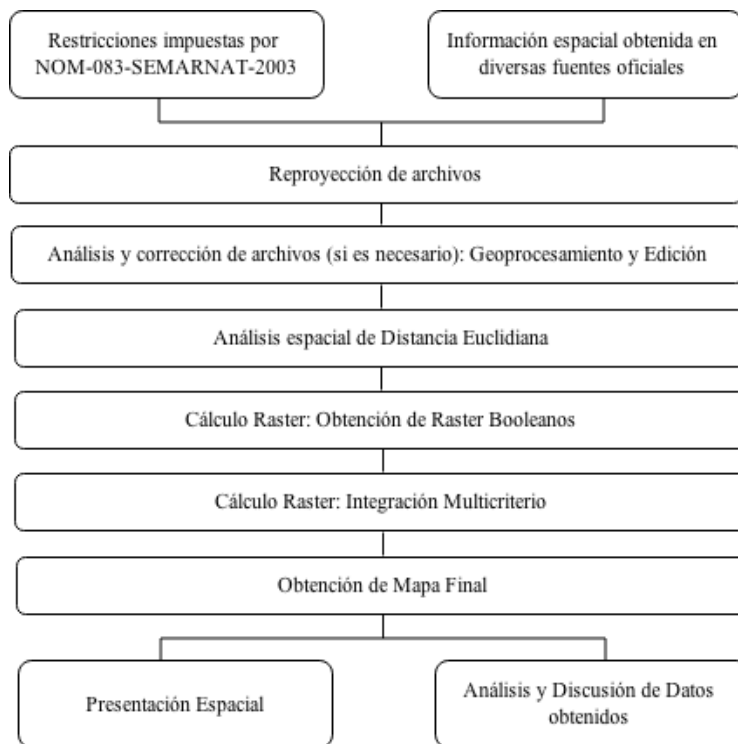


Figura 2. Diagrama del análisis multicriterio realizado [Elaboración propia]

En primer lugar, se contó con el archivo oficial de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y la información espacial requerida para realizar el análisis. Utilizando el software *ArcGIS 10.2* y *10.3* se procedió a reproyectar los archivos, con el fin de ser consistentes y manejarlos en el sistema de proyección WGS 1984, UTM Zona 13 Norte. Posteriormente se realizó un análisis general de los archivos Shape y Raster utilizados, eliminando datos innecesarios para el estudio y aligerando el tamaño de archivo. Realizado lo anterior se obtuvo la distancia Euclidiana desde las zonas objetivo por medio de herramientas de análisis espacial, con unidades presentadas en metros. Con los archivos Raster de distancias fue posible calcular finalmente un nuevo Raster Booleano, con los valores binarios (1 para factibilidad, 0 para no factibilidad) necesarios para realizar correctamente el análisis multicriterio.

Con los archivos Raster Booleanos obtenidos se calculó el mapa multicriterio final, presentándose así los sitios normativamente aptos para la presencia de sitios de disposición final en el estado. El mapa resultante impulsa, además, la realización de un análisis y discusión de los datos observados en el estudio con un énfasis primordial en los rellenos sanitarios ubicados en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

3. Resultados y Discusión

Se elaboraron 20 diferentes archivos Raster Booleanos para la obtención del mapa multicriterio final, los cuales se enlistan a continuación:

1. Red vial del estado (con una distancia mínima de 10 metros).
2. Presencia de pantanos (con una distancia mínima de 500 metros).
3. Sitios RAMSAR (Marismas) (con una distancia mínima de 500 metros).
4. Zonas sujetas a inundación (con una distancia mínima de 1 000 metros).
5. Corrientes de agua (con una distancia mínima de 500 metros).
6. Cuerpos de agua (con una distancia mínima de 500 metros).
7. Manantiales (con una distancia mínima de 500 metros).

8. Zonas arqueológicas (con una distancia mínima de 500 metros).
9. Puntos arqueológicos (con una distancia mínima de 500 metros).
10. Aeropuertos de Guadalajara y Puerto Vallarta (con una distancia mínima de 13 kilómetros).
11. Puntos aeroportuarios (con una distancia mínima de 13 kilómetros).
12. Pistas de aviación (con una distancia mínima de 13 kilómetros).
13. Edafología (suelo no permeable; sin presencia de aluvión, caliza y yeso).
14. Fallas y fracturas (con una distancia mínima de 100 metros).
15. Áreas Naturales Protegidas (con una distancia mínima de 500 metros).
16. Topografía (con una pendiente menor a 3°).
17. Acueductos superficiales (con una distancia mínima de 100 metros).
18. Vías férreas (con una distancia mínima de 10 metros)
19. Población mayor a 2 500 habitantes (con una distancia mínima de 500 metros).
20. Zonas de cultivo (con una distancia mínima de 500 metros).

Como se puede observar, se aplicaron restricciones adicionales a las establecidas por la norma, ya que algunas circunstancias, como el que no se encuentren encima de un camino o carretera y recomendar una distancia de al menos 10 metros de ellas, serían acciones implícitas en la construcción de cualquier edificación. Además, se decidió establecer una distancia mínima en restricciones que solamente limitan la presencia o no presencia del sitio de disposición final, con el fin de no estimar la posibilidad de la presencia de un relleno sanitario en colindancia con, por ejemplo, un área natural protegida. A su vez, cabe destacar que todos los datos fueron manejados a la misma escala: 1:250 000 (A excepción de la información de fallas y fracturas, la cual se manejó a una escala de 1:1 000 000), con la finalidad de evitar inconsistencias en los datos y el problema de unidad de área modificable.

Como ejemplo de un Raster Booleano obtenido se presenta el siguiente:

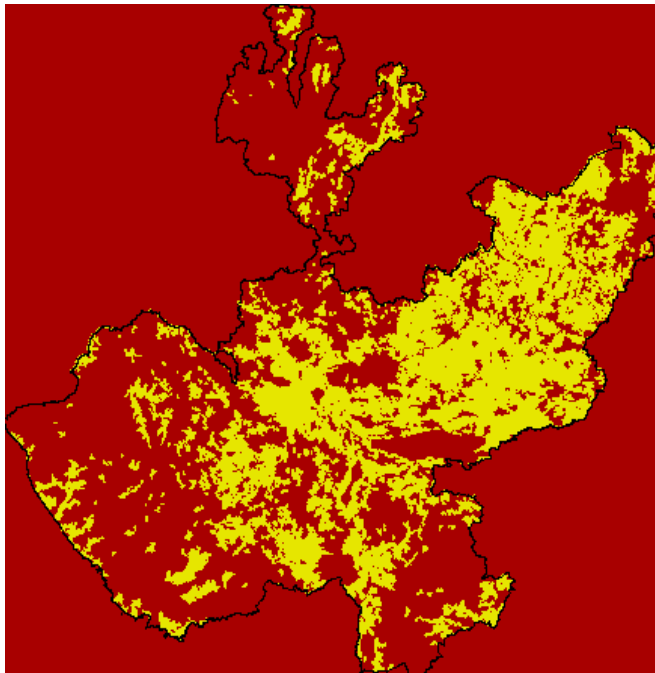


Figura 3. Raster Booleano de presencia de cultivos con distancia mayor o igual a 500 metros (amarillo: valor 0, rojo: valor 1) [Elaboración propia]

Tomando lo previo en consideración, se presenta el mapa multicriterio final, donde se establecen las zonas normativamente idóneas para la localización de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en el estado de Jalisco:

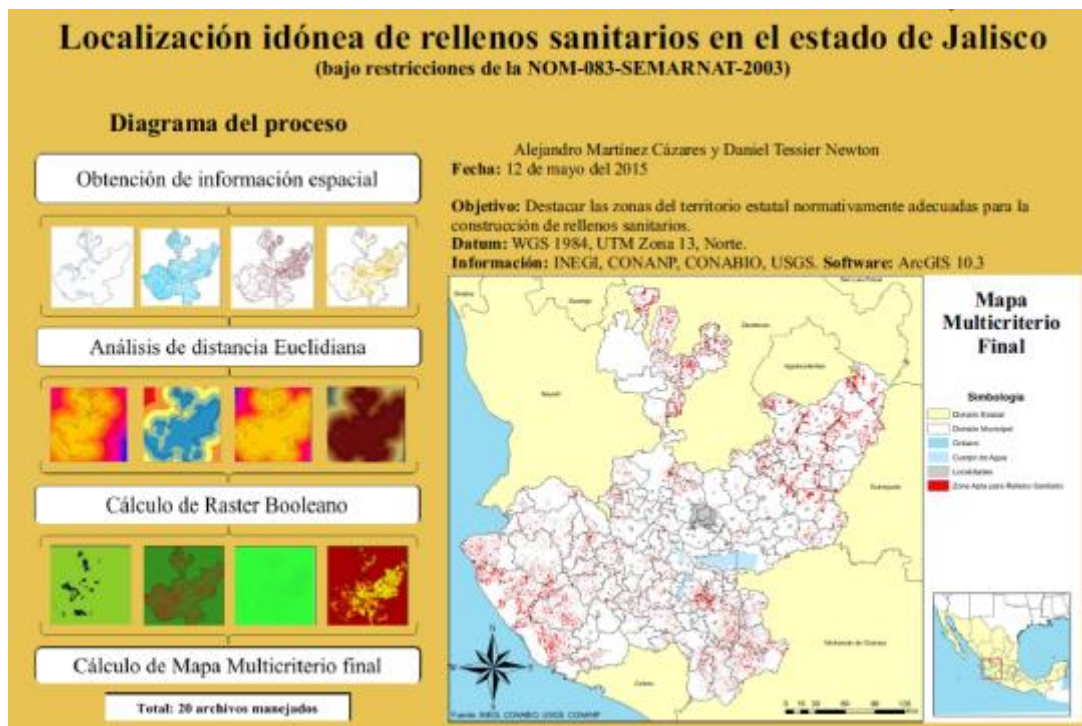


Figura 4. Mapa multicriterio final [Elaboración propia]

Con base en el mapa anterior, en un análisis individual se puede observar que existen numerosas áreas aptas para la colocación de un sitio de disposición final, destacando una mayor densidad cerca de la costa de Jalisco, la zona norte en los límites con el estado de Zacatecas, así como la noreste y cerca de los límites con Aguascalientes y Guanajuato. Para el caso del centro del estado, cerca de la zona metropolitana de Guadalajara, se observan puntos escasos con una mayor presencia al norte de Zapopan.

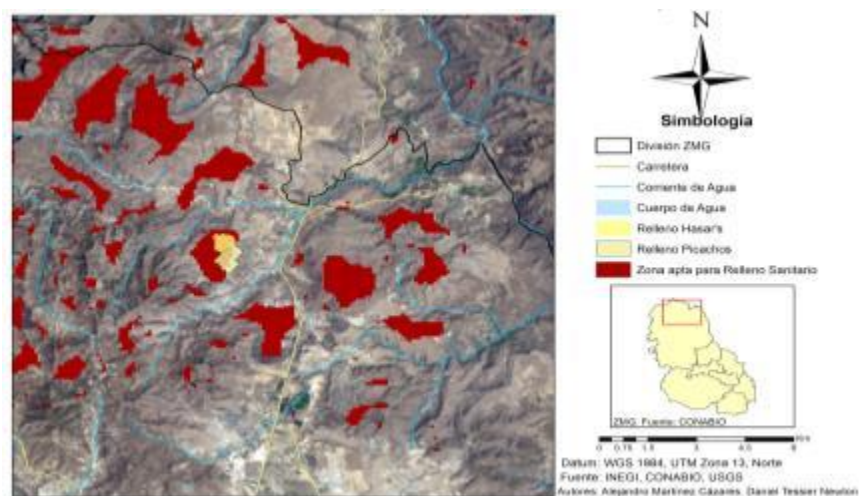


Figura 5. Rellenos Hasars y Picachos [Elaboración propia]

Para el caso del Relleno Hasars, de acuerdo a los resultados arrojados por el análisis multicriterio realizado, prácticamente se encuentra dentro de norma, mientras que en cuanto a Picachos este solamente tiene una

parte de su extensión en cumplimiento, ya que cerca del 50% se encuentra en una zona fuera de norma y cercano a una corriente de agua, por lo que sería necesaria su reubicación en esa misma zona, de forma que el relleno creciera hacia su lado Oeste y retirar la parte fuera de norma a modo de evitar algún tipo de contaminación en la corriente de agua como se da actualmente.

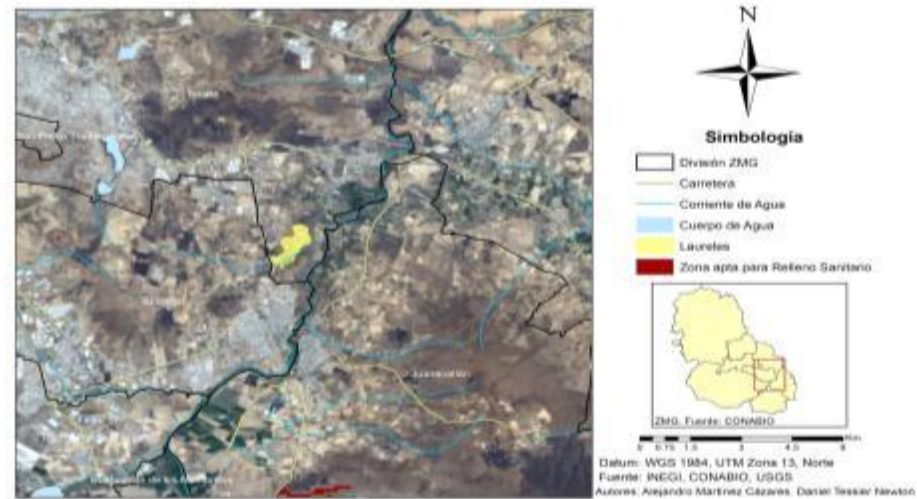


Figura 6. Relleno Los Laureles [Elaboración propia]

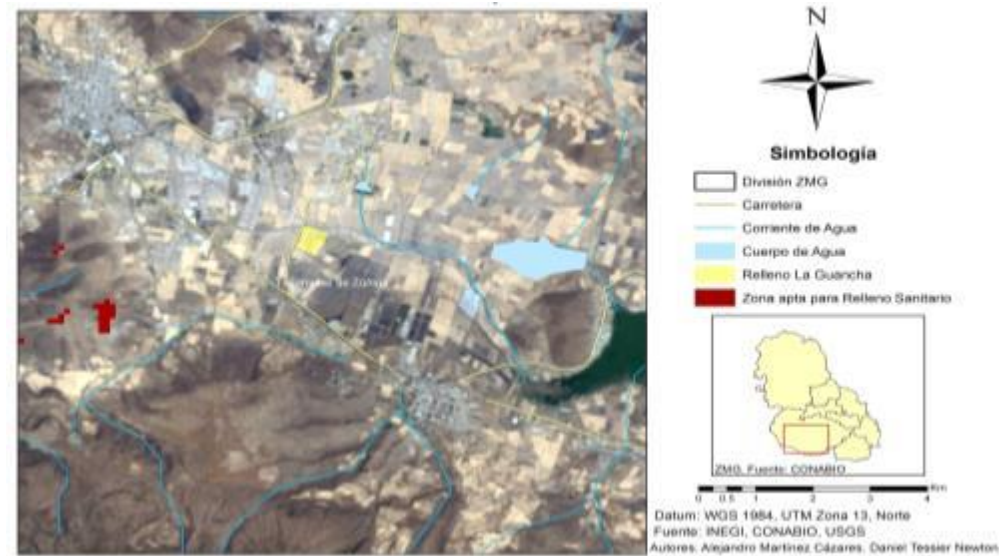


Figura 7. Relleno La Guancha [Elaboración propia]

Para el caso de los rellenos Los Laureles y La Guancha, estos prácticamente se encuentran fuera de norma en su totalidad, donde analizando las figuras previas se puede observar que están muy cercanos a zonas urbanas y de una corriente de agua. Dos posibles zonas para la reubicación del relleno Los Laureles sería en el municipio de Zapotlanejo, donde una se encontraría a 19.34 km. y otra a 19.13 km.

En cuanto al relleno La Guancha, ubicado en Tlajomulco, sucede la misma situación, muy cercano a una corriente de agua y de zonas urbanas; pero a diferencia de Laureles, sí se cuenta con una zona cercana para su reubicación, la cual se encuentra al Oeste a 3.89 km del relleno actual.

En última instancia se presenta las superficies aproximadas actuales de cada relleno en comparación con las superficies aproximadas posibles de las zonas de reubicación, mostrando así su viabilidad en este aspecto:

Tabla 1. Superficies actuales de rellenos y de posibles zonas de reubicación [Elaboración propia]

Relleno	Superficie actual [ha]	Superficie reubicación [ha]
Hasars	32.62	N/A
Picachos	47.99	N/A
Laureles	81.35	Opción 1: 112.75 Opción 2: 177.56
La Guancha	20.6	20

Complementando lo obtenido con un análisis estadístico de los resultados, se obtiene la siguiente gráfica, que presenta el porcentaje de la totalidad de sitios aptos para la construcción de rellenos sanitarios perteneciente a cada uno de los municipios del estado.

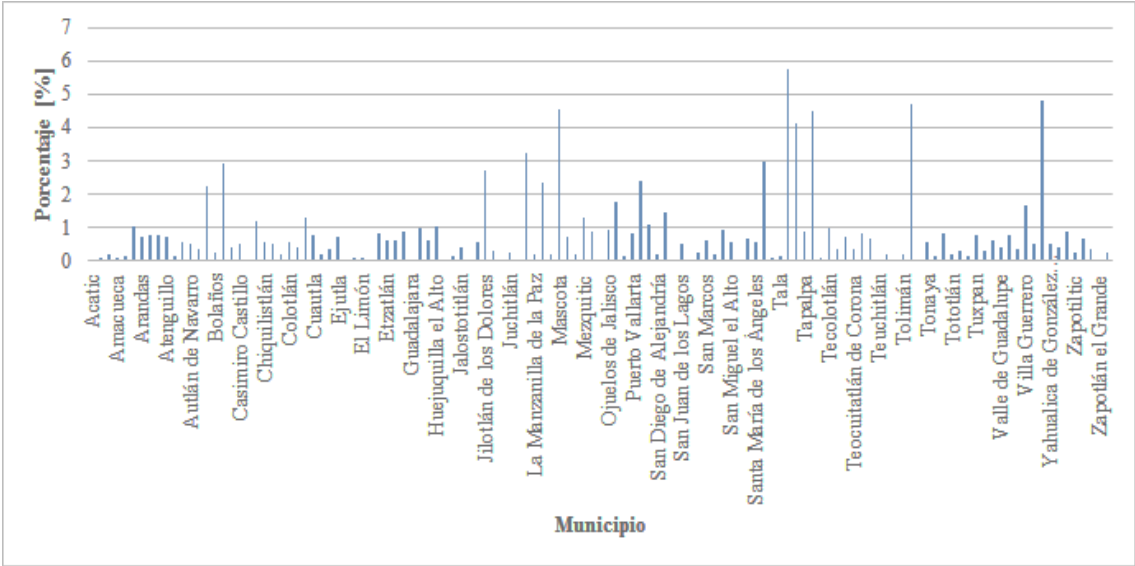


Figura 8. Municipios con porcentaje de idoneidad para la construcción de rellenos sanitarios en Jalisco [Elaboración propia]

De los valores observados destacan los siguientes municipios:

Tabla 2. Municipios con el mayor porcentaje de idoneidad normativa [Elaboración propia]

Municipio	Porcentaje [%]
Talpa de Allende	5.73
Villa Purificación	4.81
Tomatlán	4.68
Mascota	4.53
Tecalitlán	4.51

Se observa que los municipios de Talpa de Allende, Villa Purificación, Tomatlán, Mascota y Tecalitlán cuentan con el mayor porcentaje de la totalidad de la zona normativamente factible para construcción en el estado.

Existen estudios espaciales multicriterio relacionados al tema abordado en el presente trabajo con énfasis en países en desarrollo que presentan características y fundamentos similares a los manejados. Destacan casos de análisis como los de Tonekabon, Iran [9], Prahova, Romania [10], Abu Dhabi, Emiratos Árabes [11], Behbahan, Irán [12] y Venecia, Italia [13] donde globalmente se justifica la importancia de aplicar los

sistemas de información geográfica y trabajos multifactoriales desarrollados en ellos. México cuenta con una base normativa concreta para realizar el estudio sin grandes limitaciones y con variables significativas, como se ha observado a lo largo del desarrollo del proyecto, para lograr implementar esta metodología en otros estados o en extensiones territoriales más específicas. A comparación de las referencias previamente mencionadas, el proceso analítico del trabajo se redujo a una aplicación de la ley mexicana, en vez de una simple ponderación por parte de los analistas.

4. Conclusiones

Puede concluirse que el estado de Jalisco cuenta con una cantidad limitada de zonas idóneas bajo normativa mexicana para la construcción de rellenos sanitarios. De manera sorprendente, y como se estableció en la discusión del mapa multicriterio final, existen sitios de disposición final dentro de la Zona Metropolitana de Guadalajara que no cumplen con la normativa oficial establecida; caso que a simple vista puede indicar un peligro para la salud pública y medioambiental de la zona.

Estos primeros pasos de estudio espacial incitan a indagar más profundamente el origen de estos rellenos sanitarios y observar si fueron realizados con los correctos estudios de impacto ambiental y normas que los respaldan. Sin embargo, queda claro que la problemática ambiental está presente en Jalisco, y por consiguiente en su capital, predominantemente en el rubro de manejo de residuos urbanos.

La aplicación de los sistemas de información geográfica permite, como se ha demostrado en este trabajo, enfrentar problemas socio-ambientales de manera visual, considerando una gran cantidad de variables que permiten producir un resultado integral y bien fundamentado. Sin lugar a dudas, la formación de cualquier estudiante universitario de ingeniería interesado en esta rama de estudio de problemáticas debería abarcar un aprendizaje extenso de este tipo de herramientas espaciales.

5. Referencias

- [1] Muro, J., (2014). Toneladas de basura inundan rellenos sanitarios de Jalisco. Unión Jalisco, México. En línea <www.unionjalisco.mx/articulo/2014/04/03/medio-ambiente/guadalajara/toneladas-de-basura-inundan-rellenos-sanitarios-de-ja> Recuperado el 29/04/2016.
- [2] Anónimo, (2015). Irregulares, 66% de basureros. El Informador, México. En línea <www.informador.com.mx/jalisco/2013/436968/6/irregulares-66-de-basureros.htm> Recuperado el 29/04/2016.
- [3] Anónimo, (2015). Sólo 32 municipios de Jalisco tienen rellenos sanitarios: INEGI. El Informador, México. En línea <www.informador.com.mx/jalisco/2013/450153/6/solo-32-municipios-de-jalisco-tienen-rellenos-sanitarios-inegi.htm> Recuperado el 29/04/2016.
- [4] Diario Oficial de la Federación (2003). *Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003*. SEMARNAT, México.
- [5] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, (2015). Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. CONABIO, México. En línea <<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>> Recuperado el 20/06/2016.
- [6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2015). Datos por área geográfica: Información a nivel nacional, entidad federativa y municipio. INEGI, México. En línea <<http://www.beta.inegi.org.mx/>> Recuperado el 20/06/2016.
- [7] Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, (2016). Sitios RAMSAR. CONANP, México. En línea <<http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/informacion/vistaprevia7.htm>> Recuperado el 20/06/2016.
- [8] U.S. Geological Survey, (2015). EarthExplorer Landsat Archive. USGS, Estados Unidos. En línea <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> Recuperado el 20/06/2016.
- [9] Yazdani, M. et al, (2015). "Landfill site suitability assessment by means of geographic information system analysis". *Solid Earth Discuss*, 6, 945-956, doi: 10.5194/se-6-945-2015.

- [10] Manoiu, V. et al, (2013). "Using GIS techniques for assessing waste landfill placement suitability. Case Study: Prahova County, Romania". *Geographia Technica*, 8, 47-56, doi: N/D.
- [11] Issa, S.M., Shehhi, B.A. (2012). "A GIS-Based Multi-Criteria evaluation system for selection of landfill sites: a case study from Abu Dhabi, United Arab Emirates". *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, 1-6, doi: N/D.
- [12] Ghaed Rahmat, Z. et al, (2016). "Landfill Site Selection using GIS and AHP: a Case Study: Behbahan, Iran". *KSCE Journal of Civil Engineering*, 0, 1-8, doi:10.1007/s12205-016-0296-9.
- [13] Biotto, G. et al, (2008). "GIS, multi-criteria and multi-factor spatial analysis for the probability assessment of the existence of illegal landfills". *International Journal of Geographical Information Science*, 23, 1233-1244, doi: N/D.

Manejo de residuos sólidos urbanos de la Universidad Tecnológica de Puebla

¹Arenas Mitre Angélica, ¹Gómez Bravo José Luis, ¹Silva Reyes Alexis, ¹Ramiro Morales Mario Antonio y ¹Alberto Aguilar Rosete

¹ Universidad Tecnológica de Puebla. Antiguo Camino a la Resurrección Núm 1002, Col. Industrial. Tel. (222) 23. Correo: angelica.arenas@utpuebla.edu.mx

Resumen

En la ciudad de Puebla, se generan 1,700 T/día de basura, cuenta con un relleno sanitario cuya operación está llegando al final de su vida útil. No obstante que el ayuntamiento de Puebla cuenta con un Programa para la aplicación de Planes de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos, aún se está desaprovechando el 80% de éstos. En el año 2006, la carrera de Tecnología Ambiental de la Universidad Tecnológica de Puebla, inició un programa denominado “Campaña 4RSU”, que consistió en la instalación de contenedores de cartón para el acopio de diferentes residuos generados dentro de la universidad, éstos se vendían o se utilizaban para compostas, sin embargo, no eran cuantificados. En el año 2012 se iniciaron los trabajos estadísticos para cuantificar los residuos generados en la universidad y no fue sino hasta el periodo septiembre de 2014 a agosto 2015 que alumnos de la misma carrera cuantificaron los de mayor potencial de venta, tales como; papel/cartón, botes de lata y plástico (botellas de PET). Actualmente éstos son recuperados en contenedores de cartón instalados en diversas áreas de la universidad, se llevan para su almacenamiento temporal dentro de la universidad para finalmente venderlos. Con esta actividad se ha logrado recuperar y vender 1 T por cuatrimestre de papel/cartón y 60 kg de botellas de plástico. Actualmente el Programa de manejo de residuos RSU está siendo aplicado en el 30% de toda la institución y está proporcionando múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos.

Palabras Clave: *contenedor, manejo, plan y residuos.*

1. Introducción

Las estadísticas del medio ambiente son de importancia crucial para comprender el entorno natural. Esto es particularmente cierto en el caso del comportamiento de los residuos sólidos urbanos (RSU), los cuales afectan diversos sistemas biológicos naturales y, en casos extremos, pueden causar profundas afectaciones al entorno. (1). Se define a los (RSU) como los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados como residuos de otra índole (2) en la legislación mexicana. Cabe mencionar que la información sobre RSU ha adquirido una gran relevancia y como ejemplo, el 7 de noviembre de 2014 se publicó en el Diario Oficial de la Federación (3) el llamado “Acuerdo por el que se aprueba la inclusión al Catálogo Nacional de Indicadores de un conjunto de indicadores clave en materia de emisiones y residuos”, en el cual se establece la “*adición*” en dicho Catálogo los siguientes indicadores, en el marco del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica:

- Porcentaje de municipios con disposición adecuada de RSU.
- Proporción de la población con acceso a la recolección de residuos.

El hecho de que estos dos indicadores se hubiesen propuesto y aprobado implica que esta información se considera básica para la formación de políticas públicas en la materia tendientes a contar, de manera general, con un mejor sistema de gestión integral de los RSU, situación en sí misma de importancia. Por otro lado,

la Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en el Estado de Puebla, tiene como objetivos principales: Prevenir y minimizar la generación de residuos, en su liberación al ambiente y su manejo integral para evitar riesgos a la salud pública y daños a los ecosistemas y; caracterizar y valorizar los residuos para su aprovechamiento como insumos en las actividades productivas (4). Es por esta razón que los gobiernos municipales están trabajando para que organismos públicos y privados cumplan la normatividad en el almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los RSU a través de Planes de Manejo, éstos son instrumentos que tienen por objeto Minimizar la generación de los Residuos y Maximizar la valorización de los que se generan, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social (5).

En la ciudad de Puebla se generan aproximadamente 1,700 toneladas de residuos sólidos municipales al día y cada habitante contribuye en promedio con 0.98 kg. (6). La composición en peso de los residuos en el año 2015, consistió en 0.514 kg de materia orgánica, 0.142 kg de papel y cartón, 0.129 kg de vidrio, 0.34 kg de plásticos, 0.22 kg de metales y 0.160 kg de otros (7).

La Universidad Tecnológica de Puebla (UTP), instalada sobre una superficie de aproximadamente 12 Ha, cuenta actualmente con una matrícula de aproximadamente 6,000 alumnos en 9 carreras profesionales, una planta docente aproximada de 600 profesores y 300 personas en el área administrativa, además del personal de intendencia, vigilancia y jardinería que suman otras 100 personas. En total, se calcula que la comunidad universitaria cuenta con una población aproximada de 7,000 personas distribuidas en ambos turnos. Entre las carreras profesionales existentes en la UTP, está la de Tecnología Ambiental que inició operaciones en el año 1995, actualmente tiene una matrícula de 200 alumnos. En el año 2006, alumnos de esta carrera, iniciaron un programa denominado “Campaña 4RSU” consistente en forrar cajas de cartón de diferente color para residuos como: plástico, aluminio, materia orgánica y papel/cartón. Debido a que la materia orgánica humedecía demasiado rápido el cartón y generaba micro fauna nociva, además de que en periodos de exámenes resultaba difícil el mantenimiento de dichos contenedores, se optó por eliminar el acopio de éste. Por otro lado, el personal de intendencia y alumnos vaciaba los depósitos de plástico y latas deteriorando las cajas rápidamente. Con respecto al papel que se lograba acopiar en los contenedores, resultaba contaminado con restos de grasa y materia orgánica que eran depositados en éstos, sin tomar en cuenta las indicaciones. Todas estas anomalías motivó a la modificación del proyecto inicial, de tal manera que en el año 2012 se llevaron a cabo los trabajos estadísticos correspondientes para la elaboración del Programa de Manejo de RSU en la UTP, el cual se puso en marcha en el año 2014 y sigue vigente a la fecha. Dicho programa consiste en colocar en las áreas administrativas contenedores únicamente para papel reciclable; en tanto que afuera de las aulas, depósitos para plástico y aluminio. No se considera el acopio de materia orgánica por los inconvenientes que conlleva. Los residuos recuperados se almacenan temporalmente en un área techada con lámina, soportada por una estructura metálica, delimitada con malla ciclónica, ubicada al sureste y dentro de la UTP, construida en parte, con los ingresos económicos por la venta de éstos. En el “almacén de residuos” se encuentran dos depósitos de madera de aproximadamente 1 m³ cada uno, en los que se colocan los residuos para su venta posterior. Con esta actividad se le proporciona mantenimiento al almacén, se compran contenedores de plástico que paulatinamente están sustituyendo a los de cartón, además se le da difusión al Plan de Manejo de Residuos en la UTP.

2. Metodología/Desarrollo

2.1 Diagnóstico

- En un plano de la UTP, se identificaron las diferentes áreas de las que consta el campus universitario, incluyendo áreas verdes y servicios auxiliares.
- Se elaboraron cuestionarios para ser aplicados al personal responsable de recursos materiales, jefes de departamento y personal administrativo.
- Así mismo, se entrevistó al personal de intendencia, jardinería y limpieza que laboran en la UTP.

- Con base en la información proporcionada, se elaboraron dos listados; el de insumos y el de residuos.
- El análisis de dichos listados dio como resultado la identificación de los residuos potencialmente reciclables.

2.2 Contenedores

Con base en el análisis de la información obtenida, se elaboraron depósitos de dos tipos:

- Cajas de cartón. Se solicitó al área de Recursos Materiales cajas vacías (empaques de los paquetes de papel), las cuales se forraron con papel amarillo con la leyenda “Papel para Reciclar”.
- Cajas de plástico. Para el acopio del plástico y latas, se elaboraron contenedores de plástico con la leyenda “Botellas de plástico “PET” y Latas”

Los depósitos se colocaron en puntos estratégicos de las áreas comunes y administrativas.

2.3 Capacitación

En el evento “Leamos la ciencia”, se proporcionó capacitación a la comunidad universitaria, con los temas:

- Sensibilización con el documental “Nuestra Casa”.
- La importancia del reciclado de materiales.
- La manera de cómo se deben usar los contenedores instalados en la UTP.
- Lo que se tiene que hacer si dichos recipientes se llenan antes de su programa de mantenimiento.

2.4 Almacén temporal.

Se aprovecharon dos cajas de madera de 1 m³ para el almacén de papel y cartón recogido en todas las áreas de la UTP y una caja de plástico elaborado con botellas de PET para el almacenamiento temporal de botellas de plástico. Ambos depósitos están ubicado en una carpa de 6 m² forrado de lonas recicladas para evitar que el papel y el cartón se mojen.

2.5 Centros de reciclaje

Se investigaron los centros de reciclaje de papel, cartón, latas y botellas de plástico más cercanas a la UTP.

3. Resultados y discusión

3.1 Diagnóstico

La UTP cuenta con 6 edificios, 8 talleres/laboratorio, 4 áreas administrativas, 1 cafetería (actualmente esta área está cancelada), 1 biblioteca, 1 gimnasio, 1 pista de tartán y grandes extensiones para estacionamiento y áreas verdes.



Figura 1 Plano de la UTP

Los resultados de las entrevista al personal encargado de suministrar los materiales a la universidad se muestran en la Tabla 1, en donde se observa que además de productos propios de las áreas administrativas, también se enlistan los materiales y alimentos usados en la cafetería universitaria. Así mismo, es de hacer notar que también se identificó el tipo de embalaje y empaque de los productos, dado que éstos podrán llegarán a ser parte de los residuos que serán clasificados, separados y almacenados temporalmente. Es importante indicar que los datos que aparecen a continuación son del periodo Septiembre de 2012 a Agosto de 2013.

Tabla 1. Insumos en las áreas administrativas y de la cafetería.

Cantidad (mes)	Nombre comercial o químico	Tipo de empaque
50000 hojas	Papel	Cajas de cartón de 22 kg, con capacidad de 0.03 m ³
80 pzas.	Tóner	Cajas de cartón con capacidad de 0.011 m ³
62 pzas.	Carpetas	Paquetes de 3 carpetas empaquetadas con papel celofán
470 pzas.	Lapiceros	Cajas de cartón con capacidad de 0.022 m ³
500 Lt	Cloro y aroma	Botes de plástico de 20 lt (47 botes al mes)
250 kg	Jabón	Bolsa de plástico de 10 kg (25 bolsas al mes)
150 kg	Bolsas de basura	Bolsa de plástico (60*90)
70 kg	Bolsas de basura	Bolsa de plástico (1.10*90)
100 pares	Guantes de hule	Bolsa de plástico
1300 pzas	Rollos de papel higiénico.	Cajas de cartón con capacidad de 0.018 m ³ (c/rollo de 230 m)
60 cajas	Toallas sanitas	Cajas de cartón con capacidad de 0.020 m ³ (c/20 paquetes de 200 pzas)
Empaques de alimentos		
120 pzas.	Conos de huevo	Paquete de cartón con papel celofán
320 pzas.	Lata gruesa	Caja de cartón
400 pzas.	Envase de tretrapack	Caja de cartón
200 pzas.	Bolsa de sopas	Caja de cartón
100 pzas.	Botellas de aceite	Bolsa de plástico de 1 lt
4 pzas.	Galones de aceite	Galón de plástico de 20 lt

Con base en los insumos reportados en la tabla anterior y como resultado de las entrevistas al personal de intendencia se suponen los residuos indicados en la Tabla número 2, así como las probables cantidades generadas al mes.

Tabla 2. Cantidad supuesta de residuos generados

Material / sustancia	Cantidad / mes	Cantidad / anual
PET	238 kg	2380 kg
Papel	702 kg	7020 kg
Carpetas	62 pzas.	740 pzas.
Lapiceros	470 pzas.	5640 pzas.
Latas	1610 pzas.	16100 pzas.
Tóner	80 pzas.	963 pzas.
Cajas de cartón	30 kg	300 kg
Materia orgánica	300 kg	3000 kg
Empaques de alimentos		
Conos de huevo	120 pzas.	1200 pzas.
Lata gruesa	320 pzas.	3200 pzas.
Envase de tetra pack	400 pzas.	4000 pzas.
Bolsa de sopas	200 pzas.	2000 pzas.
Botellas de aceite	100 pzas.	1000 pzas.
Galones de aceite	4 pzas.	40 pzas.
Aceite quemado	120 lt	1200 lt
Empaques en galones de cloro	47 botes de 20 lt	470 botes de 20 lt
Bolsas de jabón	25 bolsas de 10 kg	250 bolsas de 10 kg

Las características de los residuos de la tabla Número 2 así como la descripción de su fuente de generación, se encuentra en la tabla número 3, en donde hay que resaltar que en las áreas administrativas se encuentra la mayor diversidad de éstos.

Tabla 3. Descripción y fuente de generación de los residuos

Residuo	Descripción y Características	Fuente de generación
PET	Botella de plástico con capacidad en general de 600 ml y 2 lt.	Las bebidas son adquiridas y consumidas por alumnos, maestros y administrativos de la UTP. Las botellas vacías son depositadas en los contenedores correspondientes de PET.
Papel	Hoja de papel en general tamaño carta.	El papel es utilizado y reusado en el 65% de las áreas de la UTP, como en oficinas, cubículos y salones. Finalmente son depositados en los contenedores especiales para papel.
Carpetas	Cartón, cubierta de plástico.	Las carpetas son utilizadas por las oficinas y cubículos de la UTP, para archivar documentos importantes. Estos se reutilizan y cuando ya se encuentran muy maltratados se depositan en la basura.
Lapiceros	Plástico, tintas líquida.	Estos son utilizados por maestros, administrativos y alumnos, estos residuos no se pueden reutilizar por lo tanto van directamente al depósito de basura.
Latas	Lata de aluminio con capacidad en general de 250 ml.	Las bebidas son adquiridas y consumidas por alumnos, maestros y administrativos de la UTP, las latas vacías son depositadas en la basura.

Tóner	Tinta líquida, impresión de documentos.	Esta tinta para computadoras la utilizan maestros y administrativos para impresión de documentos en papel. El tóner se reutiliza para volver a rellenar con tinta, y cuando se agota la capacidad de reciclaje se tiran a la basura.
Cajas	Cajas de cartón de distintos tamaños y usos.	Con base en la tabla número 1 una importante cantidad de insumos son adquiridos en empaques de cartón, por lo que las áreas que generan en mayor cantidad éstos son las administrativas.
Materia orgánica	Proveniente de todo tipo de verduras y frutas, comida desechada.	La materia orgánica es generada en las áreas de la carrera de gastronomía y en la cafetería de la UTP, este tipo de residuo no es reciclado ni reutilizado, simplemente se tira a la basura.
Empaques de alim.	Proveniente de conos de huevo, latas gruesas, envase de tetra pack, botellas (1 lt) y galones (20 lt) de aceite y bolsas de sopa.	Estos residuos son originados de empaques de diferentes tipos de alimentos, que son generados en la carrera de gastronomía y la cafetería de la UTP, éstos se desechan en la basura.
Aceite quemado	Este aceite se produce en las cocinas de gastronomía.	Este residuo es generado en la carrera de gastronomía que es el que ocupan los alumnos para hacer sus prácticas, lo almacenan en contenedores especiales donde después se transporta a una empresa donde es reciclado.
Empaques en galones de cloro y aroma	Limpieza en general de la UTP	Estos productos son utilizados por los encargados de limpieza para realizar sus labores del día, como es limpiar baños, cubículos, salones, etc. Después los empaques como los galones son recolectados por personal de intendencia.
Bolsas de jabón		

En la ilustración número 2, se encuentra un diagrama de flujo del proceso operativo de la universidad, en donde con base en las entrevistas de los jefes de área se indican los principales desechos generados en éstas, destacando que la mayor diversidad se encuentra en las áreas administrativas, ya que se pueden generar residuos orgánicos como inorgánicos y mezclas de éstos.

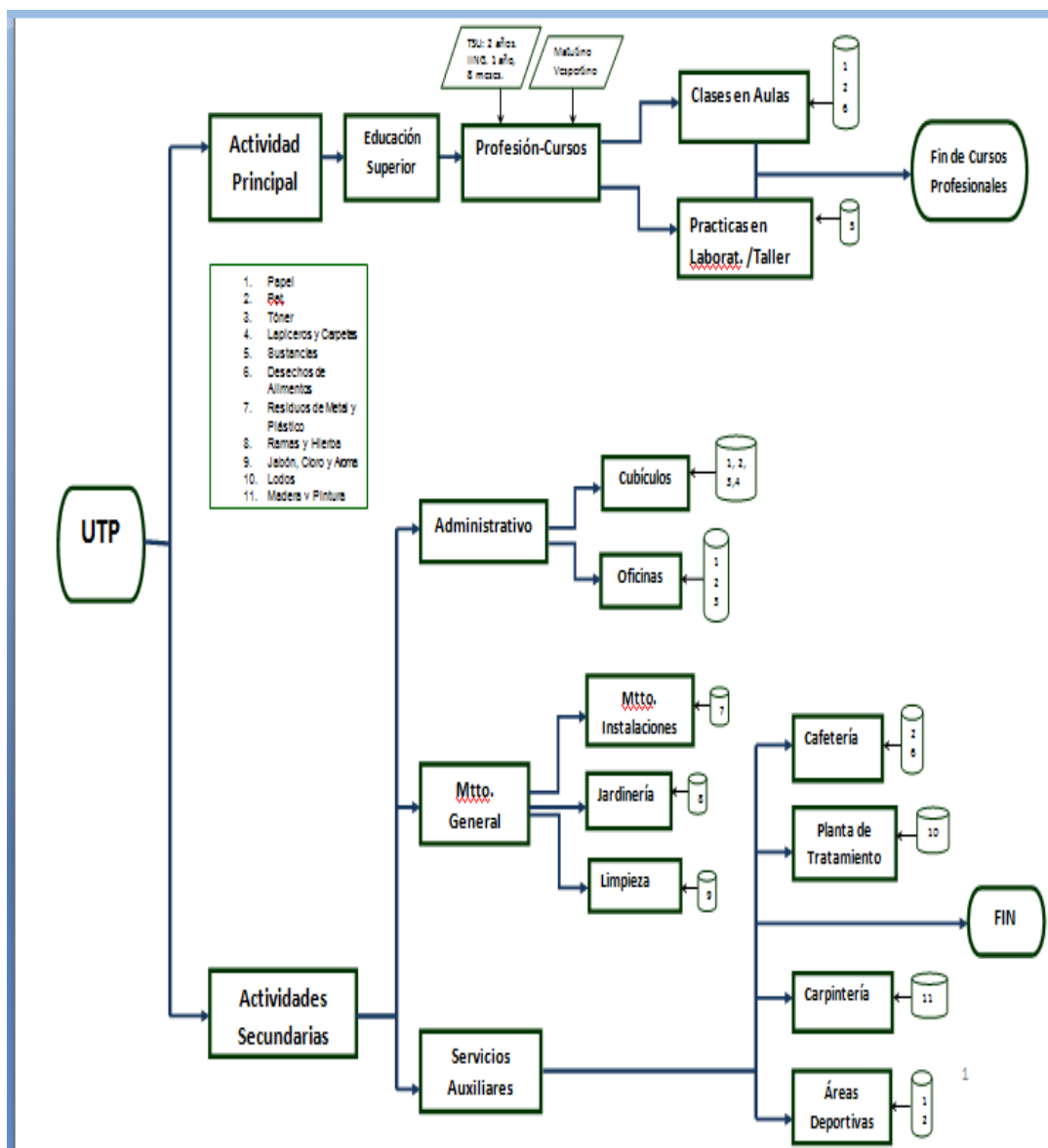


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso operativo de la UTP

3.2 Plan de Manejo de RSU.

Después de un análisis de los residuos que generan en la UTP, se optó por llevar a cabo una prueba piloto solo con cuatro tipos de éstos: papel, cartón, botes de lata y botellas de PET, dado que son los que mayor potencial tienen para ser reciclados, además son los que se generan en mayor cantidad. Los datos que aparecen a continuación son del periodo Septiembre de 2014 a Agosto de 2015.

Acopio de Papel

Se elaboraron 10 contenedores de cartón de entre 0.05 m³ hasta de 0.5 m³ para el acopio de papel y se instalaron en puntos estratégicos en las áreas administrativas de la UTP: Rectoría, centro de integración de servicios al estudiante, biblioteca, áreas administrativas de las carreras de Tecnologías de la Información y comunicación y ambiental. Es decir, se abarcó un 30 % de las áreas de la UTP.



Figura 3. Contenedor de cartón para el acopio de papel reciclable

Todos los contenedores se vacían 2 o hasta 3 veces a la semana, dando como resultado un acopio de papel de 1 T por cuatrimestre. Esto es: si con 30% de las áreas administrativas se recupera 1 T de papel por cuatrimestre, entonces por el 100 % de las áreas se podrá recuperar 10 T al año de papel reciclable. Cabe mencionar que en el cuatrimestre Septiembre-Diciembre se obtiene una cantidad un poco mayor de residuos de plástico, dado que es cuando se tiene la mayor matrícula dentro de la universidad. Así mismo, es importante mencionar que la mayor generación de papel se genera a finales y principio de cada cuatrimestre.

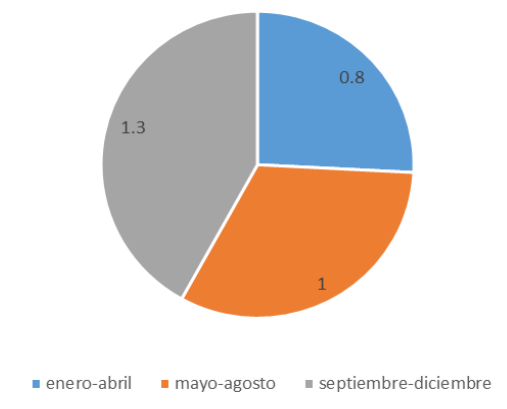


Figura 4. Generación aproximada de papel reciclable en la UTP (Toneladas)

Acopio de Botellas de plástico PET

Se construyó una caja de plástico de aproximadamente 1 m³, para instalarla en la carrera de tecnología ambiental, como prueba piloto, en donde son depositados entre 5 y 10 botellas diariamente. Al cuatrimestre se logra recuperar aproximadamente 60 Kg de botellas de plástico PET.



Figura 5. Contenedor para el acopio de botellas de plástico

Acopio de Cartón

Con respecto al cartón, dado sus diversos tamaños, se optó por solicitar a los jefes de departamentos que sean ellos quien los aparte para llevarlos directamente al almacén de residuos. Las cantidades varían, dado que personal de mantenimiento los aparta para diversos usos dentro de sus actividades dentro de la UTP. Se logra acopiar aproximadamente 5 kg en el cuatrimestre.

Acopio de botes de lata

En relación a los botes de lata generados en la carrera de la UTP, es el personal de intendencia que los aparta y almacena para su venta y beneficio propio.

3.3 Capacitación

Al personal de las áreas administrativas en donde se colocaron los contenedores para el papel residual, se les proporcionó una plática para su uso adecuado es decir, el papel no debe tener grasa ni restos de materia orgánica de ningún tipo. No se deberá colocar ningún otro tipo de residuo ni mezcla de papel con otro material.

En el contenedor de plástico, se colocó un letrero en donde se indica que las botellas deberán depositarse vacías, sin tapa y de preferencia aplastadas.

3.4 Almacén temporal

Los residuos recuperados se almacenan temporalmente en un área techada con lámina, soportada por una estructura metálica, delimitada con malla ciclónica ubicada al sureste y dentro de la UTP, en donde se encuentran dos depósitos de madera de aproximadamente 1 m³ cada uno en los que se colocan los materiales recuperados para su venta posterior.



Figura 6. Almacén temporal de residuos de la UTP

3.5 Centros de acopio

Los Centros de Acopio de Papel para reciclar en Puebla son escasos para la cantidad generada. La mayoría de los establecimientos que compran residuos se centran en metales, plástico y cartón dejando hasta el final el papel, dado que este es de los más económicos y que requieren de más cuidado, ya que si se moja, su precio disminuye aún más por los hongos que se empiezan a formar en un par de días, además no todo el papel tiene el mismo precio, por lo que para venderlo, primero se tiene que clasificar y, también se debe tener cuidado con su manejo, ya que si no se empaqueta bien durante su transporte el papel se puede volar y ocasionar múltiples inconvenientes; desde que se pierde materia prima, hasta un accidente por obstrucción de visibilidad. Las empresas que realmente reciclan el papel, están integrados por las fábricas o papeleras que utilizan este residuo y es la materia prima que necesita para transformarla en papel listo para ser utilizado nuevamente.

Las empresas en Puebla que reciben el papel para realmente transportarlo a las empresas recicladoras, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. Empresas de Acopio de Papel

Empresa	Dirección	Teléfono
Reciclados del bosque	Puebla, Pue.	01222 2972869
Recicla puebla	4ta. Sección, camino a relleno sanitario. Huejotzingo, Puebla.	01222 8882207
Ecofibras Ponderosas S.A. de C.V.	Diag. Def. De la República 1163, Col. Ciénega C.P. 72260. Puebla, Pue.	01222 2828716
Papel Picado Jazmín	Rayón s/n. Col. San salvador hixcolotla, Puebla	012222889162

Fuente: Elaboración propia.

Ecofibras Ponderosa, S.A. de C.V., es la empresa más cercana a la UTP en donde se lleva el papel reciclable bajo los siguientes costos (precios del 2015).

Tabla 5. Precios promedio de papel reciclable

Residuo	Compra (por kg.)	Venta (por kg.)
Papel blanco	\$1.20	\$3.20
Papel sin clasificar	\$1.00	\$2.80

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede plantear que el residuo de papel blanco es el de mejor calidad y por ende el de mejor precio, el papel con color y el cartón se pagan a precios más bajos.

Con la venta del papel, se ha logrado comprar algunos contenedores de plástico que paulatinamente están sustituyendo a los de cartón, además se está comprando material para la difusión del proyecto Plan de Manejo de RSU en la UTP y financiando proyectos ambientales.

4. Conclusiones

Actualmente el Programa de Manejo de RSU está siendo aplicado en el 30% de toda la institución y está proporcionando múltiples beneficios

- Generación de cultura bioética universitaria, dado que el personal administrativo ya adquirió la costumbre de colocar el papel residual que genera en los “contenedores amarillos” y los alumnos de la carrera de Tecnología Ambiental sus botellas de PET en el depósito correspondiente.
- Influencia positiva en otras carreras, dado que alumnos de las carreras de gastronomía y procesos industriales elaboraron sus propios contenedores para el acopio de plástico.
- Con los ingresos económicos por la venta de papel y plástico, el programa se está autofinanciando, e incluso contribuye con algunos proyectos ambientales de la misma carrera.
- A medida que se dé a conocer éste y otros programas similares en las diferentes instituciones educativas y organismos públicos y privados, se verá gradualmente disminuida la tala de árboles.

Referencias Bibliográficas

- [1] Carrasco Escobar JP., Rodriguez Silva JL. (2015) Análisis de estadísticas del INEGI sobre residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*. Vol. 6, Núm. 1, Enero-Abril 2015.
- [2] Secretaría de Gobernación (2015) Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Diario Oficial de la Federación (Última Reforma DOF 22-05-2015).
- [3] INEGI (2014) *Acuerdo por el que se aprueba la inclusión al Catálogo Nacional de Indicadores de un conjunto de indicadores clave en materia de emisiones y residuos*. Diario Oficial de la Federación, 7 de Noviembre de 2014, Primera Sección.
- [4] Secretaría de Gobernación (2014) Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de Puebla. Diario Oficial de la Federación (Última Reforma DOF 04/08/2014).
- [5] SEMARNAT (2004) Plan de Manejo de Residuos.
- [6] Gutierrez Rodriguez P. (2016) *Puebla genera más de mil toneladas diarias de residuos sólidos*. Diario Digital <http://www.capitalpuebla.com.mx/zona-verde/puebla-genera-mas-de-mil-toneladas-diarias-de-residuos-solidos-2>. Consultado el 16 de abril de 2016.
- [7] INEGI (2011) *Residuos sólidos urbanos*. Censo nacional de gobiernos municipales y delegacionales. Tabulados Básicos

Gestión integral de los residuos sólidos urbanos: caso de estudio de la colonia comerciantes en la ciudad de Tepic, Nayarit.

¹Graciela Birrueta Flores, ²Sarah Ruth Messina Fernández, ³Claudia Estela Saldaña Durán

¹Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Turismo, Coordinación de Investigación y Posgrado, Ciudad de la Cultura S/N. C.P. 63000, Tepic, Nayarit, México Tel: 01311 2118800 ext 8780

Resumen

En la actualidad los residuos sólidos urbanos (RSU) conforman un grave problema, ya que se tiene un manejo ineficiente de ellos lo que puede traer consigo grandes impactos en los aspectos sociales, ambientales y económicos que en conjunto repercuten en la imagen urbana de la ciudad y en la salud de sus habitantes. La gestión integral de los RSU es una prioridad, para ello es necesario generar una cultura de educación ambiental en la población, y es imprescindible tomar acciones para lograr prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales y sanitarios ocasionados por su gestión inadecuada, que sin control sanitario provocan diversos problemas a la salud y la contaminación al ambiente. Debido a que si la tendencia de la producción nacional de residuos sólidos urbanos sigue con una tasa de crecimiento promedio anual del 2.6 %, se puede estimar que para 2016 la generación total rebasará los 47 millones de toneladas, por lo cual es necesario tomar acciones encaminadas a resolver el problema del manejo de los RSU, desde una perspectiva de la sustentabilidad. Es por ello que a través de la iniciativa de gestión integral de los RSU, mediante la relación gobierno-sociedad-academia, se busca llegar a obtener una vinculación madura entre los tres entes para lograr una educación ambiental en los habitantes llevando a cabo la gestión integral de los RSU de manera sustentable a raíz de la participación social y con la participación del gobierno y la academia.

Palabras claves: *Residuos, gestión integral, sustentabilidad, participación social.*

1. Introducción

A nivel mundial, los RSU han venido experimentando un acentuado incremento en su generación, sobre todo a partir de la segunda guerra mundial, cuando se empezaron a crear una mayor variedad de productos de uso superfluo y con periodos de vida útil más cortos, que modifican su generación, composición y con ello su forma de manejo y gestión [1]. La preocupación de las autoridades para desarrollar acciones tendientes a controlar los RSU ha aumentado en los últimos años, pero en muchos casos no han sido las más adecuadas, y el problema ambiental y social persiste.

En nuestro país de acuerdo a lo establecido por el artículo 115 fracción III de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (2008): “Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes: Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos”, por tanto los Municipios han de ser los entes legitimados para llevar a cabo la prestación de los servicios. Por lo cual en México, el manejo de los RSU se realiza a nivel municipal, de acuerdo al art.115 fracción III su manejo actualmente está a cargo de las autoridades municipales, que en la mayoría de las veces sin que se tenga la mejor infraestructura financiera, legal, física y tecnológica necesaria. Por tal razón se considera que la gestión actual de los RSU en México no resulta óptima y requiere de una pronta incorporación de actividades prioritarias como minimización y reciclado [2]. El retiro de materiales reutilizables o reciclables del flujo de la basura disminuye el volumen y la cantidad de los desperdicios que son enviados a disposición final, lo cual resulta de beneficio para el medio ambiente [3].

En el Diario Oficial de la Federación se promulgó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos a nivel federal para el manejo integral de los RSU, que establece que los municipios deben instituir sistemas integrales de manejo de residuos en sus territorios [4].

En la actualidad se presenta el grave problema ambiental en las ciudades debido a la alta producción de RSU que se tiene por el alto consumo, faltando una buena gestión en tales residuos, además de la marcada ausencia de falta de responsabilidad y compromiso por parte de la sociedad que a su vez es participe en que se logre una gestión adecuada e integral de los RSU.

La gestión integral de los RSU es una prioridad, para ello es necesario generar una cultura de educación ambiental en la población, y es imprescindible tomar acciones para lograr prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales y sanitarios ocasionados por su gestión inadecuada, que sin control sanitario provocan diversos problemas a la salud y la contaminación al ambiente.

La ciudad de Tepic es la ciudad más importante del estado de Nayarit, el municipio de Tepic cuenta con una población de 380 249 habitantes [5]. En ella predomina la economía del sector terciario y tiene diferentes niveles socioeconómicos. En la ciudad de Tepic, Nayarit día a día se desechan toneladas de RSU, correspondientes a los desechos de las viviendas, pequeñas industrias, entre otros. La producción de RSU en la ciudad de Tepic es un serio problema ambiental, pues ha aumentado de 300 ton en el 2003 a 600 ton en el 2011 y se tuvieron 800 ton/día en el 2015 [6]. Adicionalmente se estima que, para el 2030, la generación de RSU se incrementará hasta 1,609 ton/día, siguiendo ese comportamiento. Los RSU representan un grave problema para la ciudad de Tepic, debido a que la ciudad está rodeada por tiraderos clandestinos, lotes baldíos, barrancas, cauces de arroyos y además el mismo sitio de disposición final que no cuenta con el control de saneamiento adecuado de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana 083 de la SEMARNAT [7], la cual menciona las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, lo cual debido a esta situación los RSU representan un grave peligro para la población y el ambiente [8].

Según estudios realizados en 2013 sobre la caracterización física de los RSU en la ciudad de Tepic, (ver Figura 1), se sabe que la biomasa considerada como los residuos orgánicos (residuos de comida y poda) representa el mayor porcentaje de la composición física, con un 48.74 %; los plásticos ocupan el 10.9 %. El 8.88 % de los materiales son recuperables tales como papel, cartón, metales ferrosos, metales no ferrosos, vidrio, PET, otros plásticos y envases multicapa. El 13.88 % corresponde a la celulosa sanitaria, y sólo el 17.01 % de materiales son no recuperables y los residuos peligrosos ocupan el 0.59 % [8].

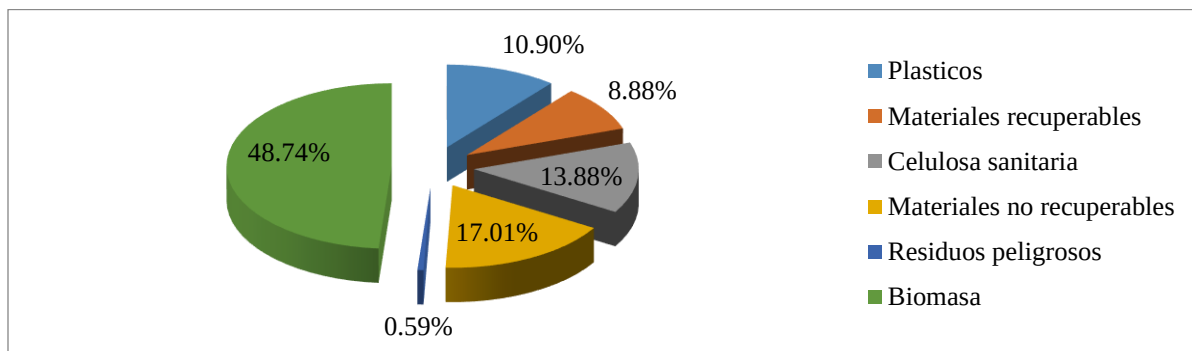


Figura 1. Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos

Como se mencionó anteriormente el gobierno municipal es el encargado de recoger los RSU y llevarlo al sitio de disposición final, cabe mencionar que para que esta actividad se cumpla en su totalidad es necesaria la participación de la ciudadanía, que en la actualidad aún no se ha planeado hacer partícipe por completo a la población de manera directa, para que a través de su participación se logre inducir a un cambio cultural profundo y más duradero, que modifique de raíz la relación que se tiene por parte de la sociedad con la ciudad y el ambiente. Además interviene la ausencia de programas que involucren a la población en acciones orientadas a concientizar e informar a la sociedad sobre el cuidado del ambiente, así como la ausencia de

reglamentos y de programas que estén dirigidos a cambios de la conducta social a raíz de una concientización de menor consumo, separación de residuos y reciclaje; la ausencia de esta conducta social trae causas como una alta concentración de basura en los tiraderos municipales agotando, la vida útil de estos.

La ciudad de Tepic vive esta situación diariamente por lo cual es necesario crear una relación de colaboración entre el gobierno, la sociedad y la academia que promueva una gestión adecuada e integral como solución al manejo de los RSU. Mediante una vinculación adecuada entre gobierno, sociedad y academia, se espera crear conciencia y una adecuada educación ambiental sobre la gestión integral que se les da a los RSU y su disposición final.

2. Metodología

2.1. Zona de Estudio

La ciudad de Tepic es la capital del estado de Nayarit (ver Figura 2) y cabecera del municipio homónimo, es la ciudad más grande y poblada del estado, de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Se encuentra entre los paralelos 21°23' y 21°52' de latitud norte; los meridianos 104°35' y 105°09' de longitud oeste; altitud entre 100 y 2 300 m. Colinda al norte con los municipios de Santiago Ixcuintla y de Del Nayar; al este con los municipios de Del Nayar y Santa María del Oro; al sur con los municipios de Santa María del Oro, Xalisco y San Blas; al oeste con los municipios de San Blas y Santiago Ixcuintla. Ocupa el 5.96% de la superficie del estado. Cuenta con 138 localidades y una población total de 380 249 habitantes [5]

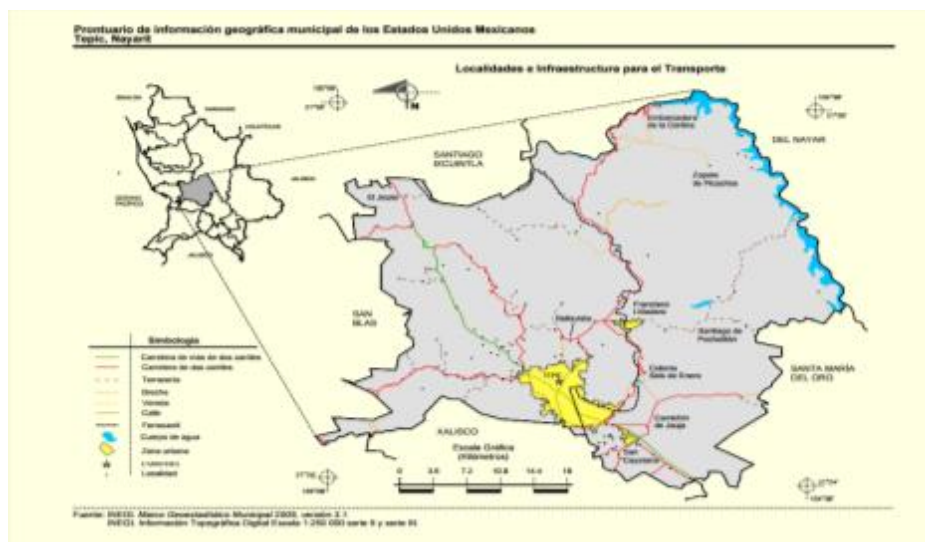


Figura 2. Macro-localización del área de estudio

La zona de estudio en la cual se realizó la investigación corresponde a la colonia comerciantes de la ciudad de Tepic, Nayarit (ver Figura 3):

Se consideró la presente zona de estudio por tres factores principales:

- 1.- Disponibilidad del CAC (Comité de Acción Ciudadana)
- 2.- Presenta características de colonias populares (poseen similitudes socioeconómicas y culturales)
- 3.- Participación anterior en programas de educación ambiental

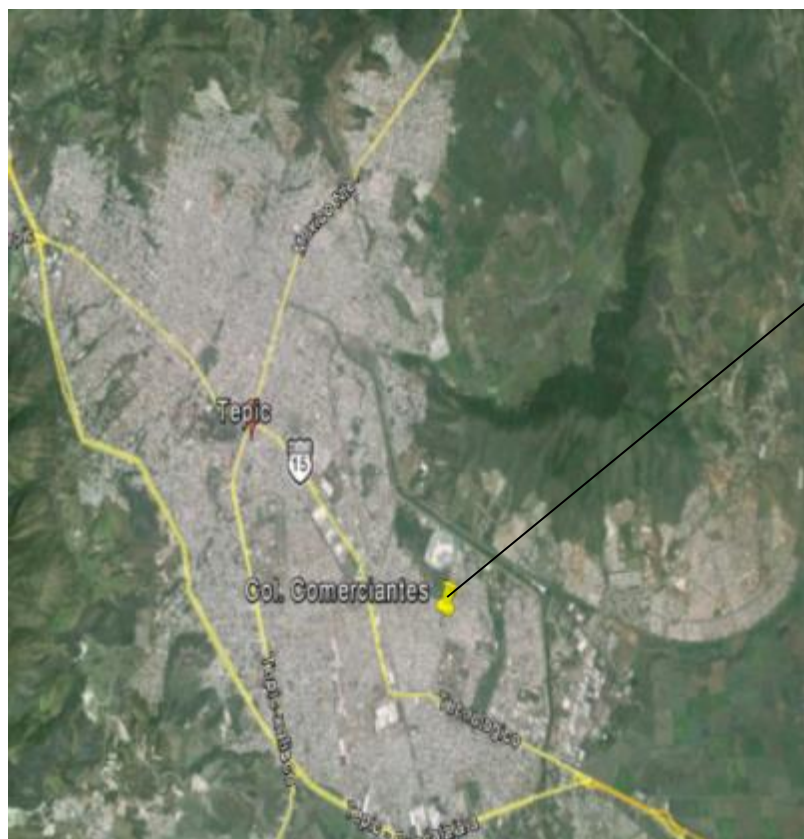


Figura 3. Micro-localización del área de estudio

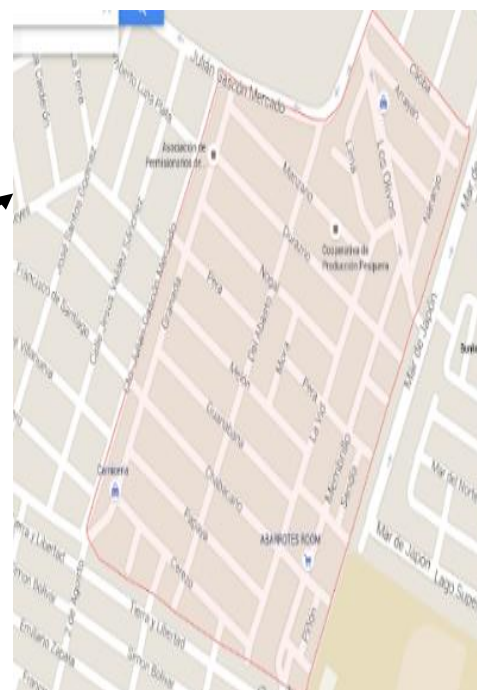


Figura 4. Área de estudio de la col. Comerciantes

2.2. Tipo de Investigación

Para que se lleve a cabo completamente la metodología en la investigación, se realizó mediante el análisis cuantitativo y cualitativo, además de realizar los procedimientos de muestreo para ubicar las zona seleccionada, para ello se utilizaron mapas e información relativa a la zona de estudio de acuerdo a INEGI por el Censo General de Población y Vivienda 2010 [5].

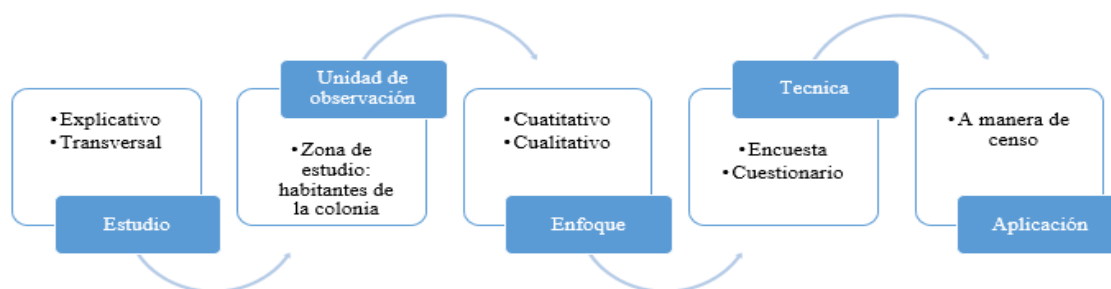


Figura 5. Estructura de la investigación

2.3 Variables e Indicadores

Se identifican las variables siguientes (ver tabla 1):

Tabla 1. Variables

Variable	Elemento	Descriptor	Indicadores		
			Presión	Estado	Respuesta
Perfil del encuestado	Género Edad Nivel académico Ocupación	Información general	Mayor consumo de productos-aumento de RSU		
Problemática de la colonia	Problemas encontrados	Afectación en la colonia	Exceso de RSU	Mal imagen urbana	Educación Ambiental
Participación Social	Separar la basura	Participación social en la gestión integral de los RSU	Mala gestión de los RSU	Tiraderos a cielo abierto	Plan de gestión integral de RSU
Conocimiento	Horario de la recolección de basura	Conoce horario del camión recolector de basura	Basura vertida en las calles	Suciedad y mal aspecto	Aplicación de horario de basura

2.4 Diseño

Para llevar a cabo el trabajo se planteó un enfoque cuantitativo y cualitativo que por las determinadas condiciones se utilizaron diferentes técnicas de investigación, como la encuesta y la evaluación, para establecer el conocimiento de la gestión integral de los RSU.

La etapa se constituyó por la aplicación de una encuesta técnica utilizada en estudios cuantitativos y cualitativos en la zona de estudio, el cual se llevó a cabo la aplicación de la encuesta a los habitantes mediante censo con el fin de obtener un diagnóstico preciso sobre la gestión que se realiza de los RSU, desde su generación, recolección y disposición final.

Para la encuesta se diseñó una cantidad de 15 preguntas bajo las variables definidas, problemática de la colonia, la participación social y el conocimiento que se tiene para realizar una gestión de los RSU por parte de los habitantes. La cual ayudó a conocer la disponibilidad que tiene la sociedad por participar en la gestión de los RSU.

Las preguntas se estructuraron en los dos tipos de enfoques que son los siguientes:

Cualitativas como: Domicilio, Edad, Género. Así permitió obtener un mejor control de los datos, así como conocer el perfil general del encuestado para tener un mayor conocimiento y mayor fortaleza de las respuestas a los cuestionamientos.

Cuantitativas: se midieron diferentes variables, como problemática ambiental, gestión de RSU, participación social y conocimiento, tomando respuestas cerradas en cada una de las preguntas cuantitativas, que recabaron el grado de opinión, conocimiento, actitudes, conductas y recursos, así como diversas cuestiones, relacionados con los aspectos de los residuos sólidos urbanos, su recolección, transporte y disposición final. Con estas variables se obtuvo la opinión que se tiene acerca de los RSU, desde su generación hasta su disposición final en la zona de estudio.

2.5 Análisis Estadísticos

Al término del trabajo de campo de la investigación, los datos se analizaron con el programa estadístico SPSS 20.0 para el análisis cualitativo y cuantitativo en el cual se pueden realizar desde análisis simples de estadística descriptiva, para así evaluar la conexión entre las diferentes variables.

Resultados

La generación de RSU va en aumento de manera incontrolada, pero esto puede corregirse a través de su gestión integral. Los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas en la colonia Comerciantes de la ciudad

de Tepic mostraron la disponibilidad de participación y conocimiento que tienen las personas para generar una gestión integral.

De acuerdo a los resultados los habitantes de la colonia Comerciantes el 40.1% considera que la colonia está sucia, el 39.3% considera la limpieza de la colonia regular, mas sin embargo el 12.1% percibe la colonia con limpieza. Lo cual a través del resultado se puede dar cuenta que mediante el conocimiento de la sociedad la colonia esta con un porcentaje un poco elevado en cuanto a la falta de aseo (ver figura 6).

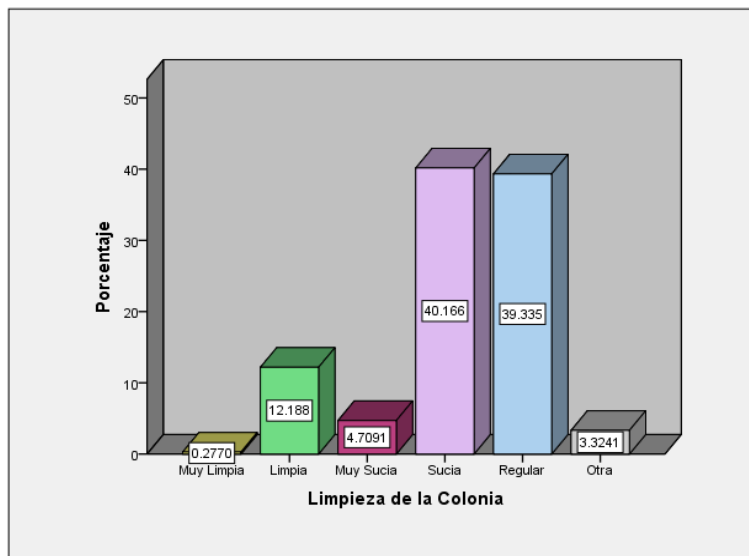


Figura 6. Limpieza de la colonia Comerciantes

Se analizó la separación de la basura que realizan los habitantes de la colonia comerciantes, en lo cual se obtuvo que solo el 7.2% separa la basura completamente, el 24.9% separa más de dos materiales y se obtuvieron porcentajes muy bajos de diversos materiales que las personas separan con algún fin, sin embargo el 49% de los habitantes no practican la separación de los residuos en sus hogares, por lo que representa un porcentaje alto (ver figura 7).

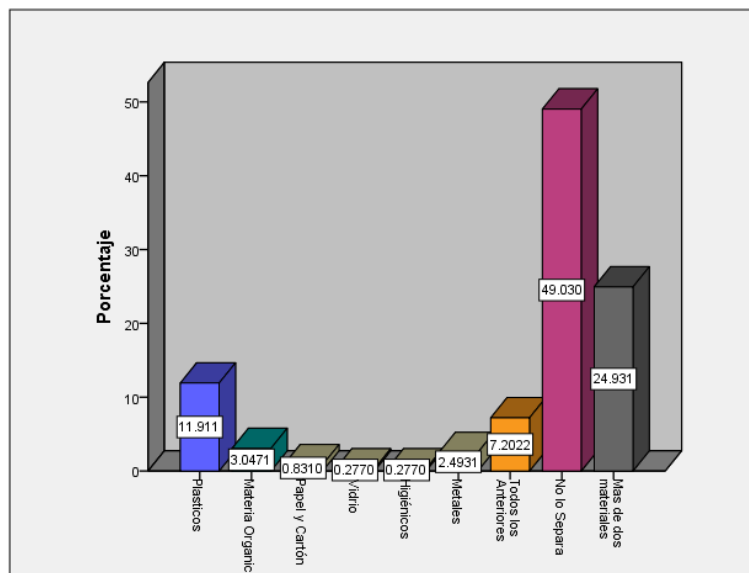


Figura 7. Separación de la basura

El 93.6% de los habitantes de la colonia tienen el conocimiento del horario del camión recolector de la basura, por lo cual a través de ellos se tendría una buena gestión de los residuos y solo el 6.3% no sabe realmente cual es el horario del camión recolector (ver Figura 8).

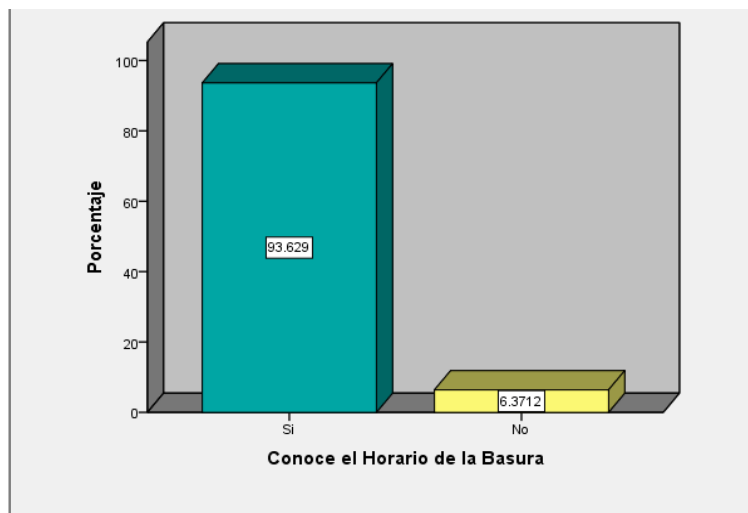


Figura 8. Conocimiento del horario del servicio de recolección

Para lograr una gestión integral de los RSU se necesita una completa participación social por parte de los habitantes de la colonia, por lo cual el 73% de los habitantes están de acuerdo con participar en la separación de los RSU, el 10% no desea participar, 6.5% ya realiza la separación de la basura y además el 8.5% comento que está dispuesto a participar en la separación para con ello contribuir al cuidado del ambiente (ver Figura 9).

Contar con una participación social es de gran importancia y eslabón principal para generar un cambio en los habitantes hacia una gestión integral de RSU.

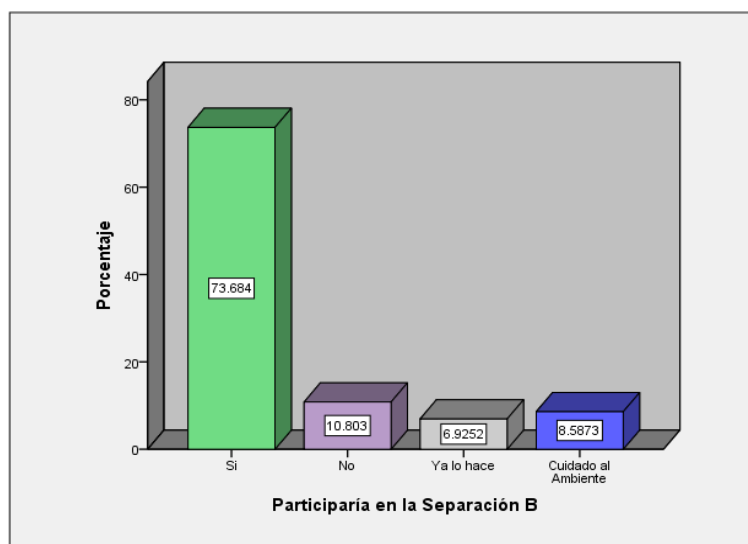


Figura 9. Disponibilidad de participación en la separación

De acuerdo al diagnóstico que se realizó a través de la encuesta mostró que los habitantes de la colonia Comerciantes tienen disposición de participar en la gestión integral de los RSU y con ello poder obtener grandes beneficios para su colonia, debido a que a raíz de los problemas que trae consigo la mala gestión de

los residuos desde su generación hasta su disposición final está generando grandes impactos ambientales y sociales. Los habitantes de la colonia están dispuestos a participar para poder notar un cambio importante y benéfico para ellos como principales afectados del uso y tratamiento que se le dan a los residuos.

Conclusiones

La gestión integral de los RSU a través de la vinculación madura de gobierno-sociedad-academia presenta una gran aportación a la sustentabilidad a raíz de una participación ciudadana consiente y responsable con la generación y disposición de los RSU. Llegar a una sustentabilidad bien dirigida en la colonia debe ser a través de la participación puntual y disposición de cada uno de los entes con los que se trabaja. Para que se logre llevar a cabo una gestión de RSU tiene que ser planteada por medio de la participación colectiva auspiciada desde la estructura gubernamental junto con la sociedad, quienes participaran en la implementación de la reducción y el reusó de materiales, y plantearan mecanismos para llevar a cabo procesos de reciclaje.

Los habitantes de la colonia por falta de educación ambiental sobre la gestión de RSU se encuentran ajenos a las situaciones que se suscitan debido a los RSU que se generan en cada uno de sus hogares, pero es a través de la concientización y exposición de los problemas, donde los habitantes comienzan a recapacitar y a visualizar que todas su acciones en la generación de RSU se ven plasmadas en su entorno. Así a través de la gestión integral de RSU se brinda una mayor concientización de la sociedad generada por la participación social, gubernamental y académica; las cuales contribuyen en el aporte a la buena gestión.

Referencias Bibliográficas

- [1] Cota Tejada Daniela, (2013). Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales (Orientación Ecología de Zonas Áridas). Manejo De Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad De La Paz, B. C. S.: Estrategia para su gestión y recomendaciones para el desarrollo sustentable. La Paz, Baja California Sur.
- [2] Calvo R.F., Szantó N.M. y Muñoz J.J. (1998). Situación del manejo de residuos sólidos urbanos en américa latina y el caribe. Revista técnica RESIDUOS No. 43. Bilbao, España.
- [3] Maldonado L. (2006). Reducción y reciclaje de residuos sólidos urbanos en centros de educación superior: Estudio de caso. Ingeniería; 10: 59-68.
- [4] DOF (2003). Diario Oficial de la Federación. Decreto por el que se promulga la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. México D.F
- [5] INEGI 2010. Censo de población y vivienda. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?src=487&e=2>, 07/05/15.
- [6] DAP (2010). Informe de la Dirección de Aseo Público. H. XXXVII Ayuntamiento de Tepic, Dirección de Aseo Público.58 p.p.
- [7] SEMARNAT (2004). Norma Oficial Mexicana NOM- 083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección de sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales. Diario Oficial 20 Octubre de 2004.
- [8] Saldaña, D. C. E., Hernández, R. I. P., Messina, F. S., Pérez, P. J. A. (2013). Caracterización física de los residuos sólidos urbanos y el valor agregado de los materiales recuperables en el vertedero el Iztete, Tepic-Nayarit, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 29 (3), 25-32.

Avances y retos en la recertificación del Sistema de Gestión Ambiental en el IT Mexicali; caso residuos sólidos urbanos.

¹Jose Gpe. Melero Oláquez, ²Dora Argelia Hernández Martínez, ³Carlos López Castellanos, ⁴Eduardo González Pérez, ⁵Miriam Melero Hernández.

¹Instituto Tecnológico de Mexicali, Av. Instituto Tecnológico s/n, Col. Elías Calles, tel (6860 580-4980, brechista@gmail.com

²Instituto Tecnológico de Mexicali, ³Auditor Líder del SGA ITMexicali, ⁴Coord. RSU del ITMexicali ⁵CETYS Preparatoria.

Resumen

Este trabajo fue realizado en el Instituto Tecnológico de Mexicali que es una Institución de Educación Superior en México, aporta los retos que representa certificarse en el sistema de gestión ambiental ISO 14001:2004, menciona cuales son los beneficios de dicha certificación, así como los antecedentes que permitieron llegar a tal fin. De las cuatro metas ambientales de la institución; disminución de consumo de agua, de energía eléctrica, de generación de residuos peligrosos y de generación de residuos sólidos urbanos, esta última es la que se presenta en este trabajo. Se revisaron los documentos de evidencias que se entregaron al equipo auditor antes de la certificación, durante el periodo en el cual se obtuvo la certificación y antes de la auditoría para obtener la recertificación. Los resultados presentados para lograr la recertificación son significativamente distintos a los presentados en la certificación, esto es que los orgánicos generados fueron del 58%, reciclables del 39%, no reciclables del 2% y del PET del 1% (en la certificación fueron 32%, 21%, 36% y 11% respectivamente). Se rediseñaron y aumentaron los depósitos temporales de acopio de residuos que se tenían, denominándolos “islas ecológicas” lo cual permite acopiar mayores cantidades de residuos a la vez que en cada semestre se promueve el uso adecuado para cada depósito. Actualmente se está trabajando en implementar un sistema de pesaje con mejor control para evitar posibles desviaciones o fallas en los reportes semestrales que se generan.

Palabras Clave: evidencias, islas ecológicas, generación de residuos, recertificación.

Antecedentes

En 1992, previo a la conferencia de las naciones unidas sobre medio ambiente y el desarrollo (cumbre de la tierra) en Rio de Janeiro (Brasil), la British Standards Institution (BSI) publicó el primer estándar mundial de sistemas de gestión ambiental denominado BS 7750, la cual se convirtió en la norma ISO 14001 la cual fue publicada en 1996, esta ha sido adoptada por empresas y organizaciones de más de 159 países [1].

ISO 14001, sus beneficios

Este estándar aceptado internacionalmente indica como contar con un sistema de gestión medioambiental efectivo. Ayuda a las organizaciones a mantenerse exitosas sin menoscabar o pasar por alto sus responsabilidades ambientales, sus beneficios son:

- Reduce el desperdicio de sus residuos y el uso de la energía
- Reduce costos de operación
- Expande oportunidades de negocios
- Genera mayor confianza al satisfacer obligaciones legales

Historia en ITMexicali

El Instituto Tecnológico de Mexicali como parte del Tecnológico Nacional de México (TecNM), adquiere el compromiso, al igual que otros institutos y centros de trabajos dependientes del TecNM, de promover la comprensión e implementación de la sustentabilidad a través de la educación por lo que en 2010 se inician los trabajos tendientes a buscar la certificación de esta norma ambiental, buscando crear una cultura de responsabilidad ambiental en el personal, estudiantes y/o partes interesadas que convergen en cada una de

las 267 instituciones y centros alrededor de todo el país. Como una estrategia para alcanzar la certificación, el TecNM estableció un esquema de trabajo multisitio para que los institutos y centros se agruparan según sus fortalezas y áreas de oportunidad. En una primera instancia se formaron dos grupos multisitios; el grupo 1 formado por 49 institutos y centros, dentro de este grupo se encuentra el ITMexicali, el grupo 2 se formó con 20 institutos y centros [3], se espera que en un futuro próximo los demás institutos y centros se agrupen para que todos los miembros del TecNM se certifiquen ambientalmente.

Política ambiental:

El TecNM establece el compromiso de orientar todas sus actividades del proceso educativo, hacia el respeto del medio ambiente; cumplir la legislación ambiental aplicable y otros requisitos ambientales que se suscriban, promover en su personal, clientes y partes interesadas la prevención de la contaminación y el uso racional de los recursos, mediante la implementación, operación y mejora continua de un Sistema de Gestión Ambiental, conforma a la norma ISO 14001:2004/NMX-SAA-14001-IMNC-2004.

El alcance de la política ambiental definido en el SGA del TecNM:

- Es apropiada a la naturaleza, magnitud e impactos ambientales de sus actividades, productos y servicios.
- compromiso de mejora continua y prevención de la contaminación
- compromiso de cumplir con los requisitos legales del sistema y del propio TecNM
- se comunica a todas las personas que son parte de la institución

Implicaciones para la Institución

Para buscar obtener la certificación, en primera instancia se requirió formar un equipo de trabajo que aparte de sus labores normales (docentes o administrativas), supervisara o llevara a cabo las actividades tendientes a lograr dicha certificación. La alta dirección de la institución constituida por el Director, los subdirectores y los jefes de departamento fue la encargada de formarlo, se siguieron dos estrategias:

1. Participación comprometida y activa de todos los elementos que constituyen la alta dirección, y,
2. Promover la participación activa y voluntaria de otros miembros de la institución.

Estructura del equipo de trabajo

La figura 1 muestra la estructura del grupo de trabajo y las cuatro metas ambientales que el grupo multisitio formado por los 49 institutos definió para lograr la certificación.

En la estructura anterior, el equipo líder, responsable de toda la organización, se formó a partir del verano de 2010, una de las principales actividades iniciales que realizaron fue formar el equipo de trabajo multisitio con los demás institutos tecnológicos en el país para definir que las metas ambientales propuestas fueran las adecuadas para cumplir con los requisitos en un tiempo no mayor de 2 años. A finales de 2010 se realizó para su caracterización el primer pesaje de los RSU generados por la institución, durante cada semestre de 2011 se caracterizaron conforme a la norma los RSU en dos ocasiones, lo anterior para presentar los resultados conforme a los formatos que la entidad certificadora requería para programar la auditoria para certificación. Estas cuatro metas ambientales lograron su objetivo al ser certificado este multisitio en Agosto de 2012, con una duración de 3 años (14 Agosto 2012 al 14 Agosto 2015). Cabe hacer mención que un grupo de trabajo o multisitio indica que a partir de sus fortalezas, los institutos agrupados se apoyen para obtener la certificación como uno solo, esto es que si alguno no se certifica, los demás tampoco, por lo que el trabajo en equipo es esencial.

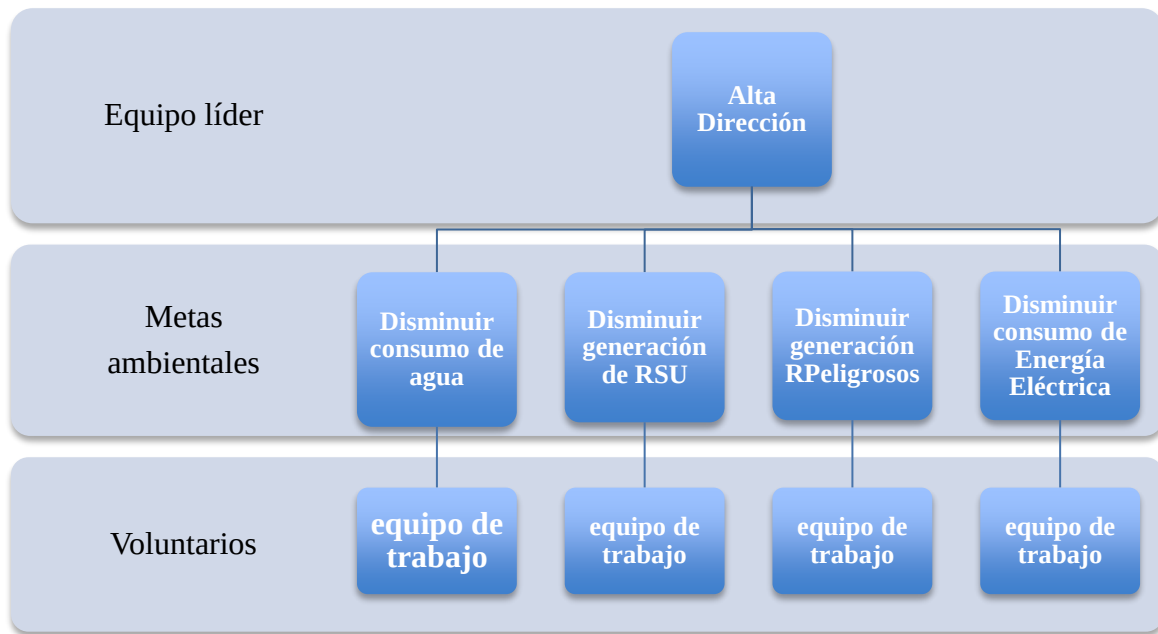


Figura 1. Estructura inicial del equipo de trabajo

Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Los RSU es la meta ambiental a la que está dedicado este trabajo. La tabla uno muestra los resultados de la caracterización que se presentaron al equipo de auditores. Los residuos generados por la institución, en promedio eran de 253 kilogramos diarios.

Tabla 1. Caracterización de los RSU antes de la auditoría ambiental

Tipo de residuo	peso (Kg)	%
Orgánico	82.21	32
Reciclable	52.69	21
No Reciclable	91.21	36
PET	26.71	11
TOTAL	252.82	100

Como se puede observar, el potencial total de recuperación de los RSU generados en la institución era del 64 %.

2. Metodología

Para realizar este trabajo, se revisaron las responsabilidades del coordinador de esta meta ambiental, que mejoras se llevaron a cabo después de la primera certificación, cómo se documentaron y qué propuestas se hicieron. También se propuso el cambio de depósitos de recolección de los residuos por otros más grandes.

Como parte de este equipo de trabajo, el coordinador de esta meta ambiental tiene como responsabilidades lo siguiente:

- Realizar el diagnóstico de generación de RSU

- Contactar empresas para establecer convenios para la colecta de los RSU
- Proponer estrategias para disminuir la generación de los RSU
- Proponer equipos para medir la generación de los RSU
- Elaborar informe de RSU

3. Resultados

Responsabilidades del coordinador de la meta de RSU

Para realizar el diagnóstico de RSU en la primera etapa (para la certificación), la institución no contaba con equipo de medición adecuado para tal fin, se llevó a cabo con equipo de medición del Instituto de Ingeniería de la UABC a cargo de la Dra. Sara Ojeda-Benítez, en la actualidad ya se cuenta con equipo de medición. Se contactó a diferentes empresas para la recolección de los residuos según su clasificación. A partir de la certificación, se formaron equipos de trabajo para promover en toda la institución la separación de los diferentes residuos, así como también el depósito de estos, en los lugares destinados para tal fin. El informe que se elaboró sobre los residuos no se presentaron estrategias para disminuir la generación de estos. Para la recertificación se presentaron los informes semestrales del 2012 al 2015.

Mejoras después de la certificación

Para la certificación en la primera etapa, se colocaron depósitos en lugares estratégicos de la institución para la colecta de los residuos, una mejora que se propuso a la alta dirección y que fue aceptada, es que estos no eran suficientes para recolectar los residuos que se generan diariamente por lo que fueron cambiados por otros más grandes. La medición y pesaje de los RSU, se está llevando a cabo con más regularidad que en la primera etapa y también otra mejora fue que la alta dirección designó al equipo de trabajo de RSU un técnico de manera fija.

Elaboración de informes y propuestas

Una mejora importante en la elaboración de los informes es la inclusión de un técnico cuya responsabilidad principal es la elaboración de estos, llevando un mejor control de los resultados del pesaje, medición y caracterización de los residuos.

Se presentaron dos propuestas a la alta dirección:

- Formar un equipo de trabajo con docentes y estudiantes para que el día de la reinscripción, en la sala de espera del Centro de Información (donde se llevan a cabo las reinscripciones) se promueva a través de pláticas, videos y trípticos los objetivos principales del Sistema de Gestión Ambiental y cómo cada uno de los miembros de la institución puede apoyar/aportar para que éste funcione mejor. Los programas de servicio social y créditos por actividades complementarias son un buen aliciente para que los estudiantes participen en este programa.
- Que todos los departamentos institucionales involucrados (Comunicación y Difusión, Desarrollo Académico, Centro de Cómputo, entre otros), lleve a cabo en forma masiva, un programa de sensibilización y concientización a todos los miembros de la institución.

Estas propuestas ayudarán a cumplir con los requerimientos que no han sido cumplidos completamente en el Sistema de Gestión Ambiental.

Recomendaciones

Como se mencionó anteriormente, los contenedores usados para la recolección de los diferentes residuos sólidos, no eran de tamaño suficiente para el número de estudiantes a los que estaba dirigido. Se colocaron

tres contenedores de diferentes colores señalando que tipo de residuo debería ir en cada uno por edificio, tal como lo muestra la figura 2, pero se observó que el tamaño no era el adecuado. Se realizó un rediseño de los contenedores (propuesta por este equipo de trabajo) y además de ser más grandes, se agregó uno más de color negro para que allí se depositaran los residuos difíciles de separar (residuos mezclados).



Figura 2. Primeros contenedores para RSU

La figura 3 muestra los nuevos depósitos que se colocaron para cumplir con las disposiciones de la entidad auditora, a estos nuevos depósitos se les llamó “islas ecológicas”, las cuales contaban, además de una etiqueta en los depósitos, una estructura con una lona indicando en esta, que tipo de residuos se deben depositar en cada uno de ellos según su color (azul para plásticos, amarillo para papel/cartón, verde para orgánicos y negro para residuos mezclados).



Figura 3. Rediseño para los contenedores

Durante la auditoria, en el área de la cafetería se observó que uno de los contenedores (garrafa) para depositar grasa, estaba sin identificar, por lo que se pidió que se etiquetara indicando que tipo de líquido es, para que sea tratado en forma adecuada. Esta recomendación se resolvió rápidamente.

Evidencias resueltas a partir de las observaciones.- Se comprobó que las observaciones realizadas se atendieron con prontitud además de documentarlas y resguardarlas en una carpeta de evidencias.

Preparación para la re-certificación.- Se comprobó que las carpetas conteniendo las evidencias de preparación para la auditoria de re-certificación estaban en orden, además, el coordinador del programa del sistema de gestión integral de los RSU, junto con su equipo de trabajo están al pendiente de que las islas ecológicas sean suficientes para toda la institución (actualmente existen 30 islas ecológicas en toda la institución) y que tengan los señalamientos adecuados.

Recomendaciones/observaciones después de la auditoria.- Las conclusiones a las que llegó el equipo auditor dicen: *“El sistema de gestión ambiental se encuentra implementado y se mantiene. Se tiene un entendimiento adecuado de la política ambiental. Están definidos los objetivos, metas y programas y se le da seguimiento al cumplimiento de estos.”* Por esta conclusión, el equipo auditor recomienda al comité de certificación: *“Se recomendará al comité de certificación otorgar la recertificación en ISO 14001:2004, al instituto tecnológico de Mexicali”* [4].

Se otorgó la recertificación del sistema de gestión ambiental a la institución por un periodo de tres años (26 Agosto de 2015 al 26 Agosto de 2018)

La tabla dos muestra los resultados semestrales de la caracterización de los RSU que se presentaron a la entidad auditora para efectos de la recertificación.

Tabla 2. Reporte semestral de RSU

Tipo de residuo	Peso (promedio diario)	
	(kg)	%
Orgánico	91	58
*Reciclable	61.5	39
*No Reciclable	3.07	2
PET	0.73	1
TOTAL	156.3	100

Fuente: coordinador del programa del sistema de gestión integral de los RSU

Como se puede observar al analizar la tabla uno y dos, la generación diaria en promedio de los residuos cambió de una forma significativa y aunque esta información está en las carpetas de evidencias, este equipo de trabajo se dio a la tarea de revisar minuciosamente que pudo haber pasado con los datos obtenidos. Existen dos discusiones; una en el sentido de que en este periodo, los miembros de la institución tomaron conciencia de la importancia de reducir los RSU y realizaron un esfuerzo para tal fin y la otra es que, desde el terremoto de Abril de 2010 evento en el cual nuestra institución sufrió daños considerables en 5 de nuestros edificios, en estos años, el gobierno federal, estatal y el propio TecNM aportaron recursos para eliminar y limpiar escombros de los cinco edificios y además de restaurarlos completamente (en el 2015 se entregó el último de los edificios en reconstrucción), con lo que se generó mucho escombros que las propias empresas contratadas retiraban de la institución, pero que no dudamos que se llevaran escombros y otros materiales que se encontraban cerca de las áreas en reconstrucción que no eran parte de estos edificios. Esta ultima consideración fue tomada en cuenta porque se encontró en la carpeta de evidencias un reporte con un comentario en la columna de las observaciones que dice: “se alteró la medición”, esto es que los datos que se registraron, aunque fueron tomados en cuenta, no eran del todo confiables. Este evento más que perjudicar al programa de gestión, ayudó para hacer ver al equipo auditor que se está trabajando en el programa de la mejor manera posible, pues fue documentado y presentado tal cual.

4. Conclusiones

Como toda organización que lleva a cabo diferentes acciones en pro del medio ambiente, necesariamente tiene que contar no solo con un equipo de trabajo sino que se debe involucrar (más bien comprometer) a todos los miembros de dicha organización para que estas acciones tengan éxito. De esta forma, tanto la alta dirección como los diferentes encargados de coordinar los esfuerzos para mantener y mejorar este sistema de gestión ambiental, han tenido a bien en incorporar a la mayor cantidad de miembros de esta IES, cada inicio del semestre se organizan equipos de trabajo integrados por los mismos estudiantes de la institución para que por medio de una campaña de concientización, ayuden a promover lo que se denomina: “campaña de educación ambiental en las islas ecológicas”, la cual consiste en platicar e invitar a sus propios compañeros de estudio y también a docentes, a que busquen disminuir la generación de residuos, los residuos que generen los depositen en los contenedores adecuados para ello – *islas ecológicas con cuatro depósitos cada una* – y en el depósito con el color para cada RSU, además de esta acción, los equipos de trabajo asisten a los diferentes salones para promover esta campaña. La figura cuatro muestra algunos aspectos de esta campaña realizada por los propios estudiantes en cada isla ecológica. También se está llevando con éxito, en lugares diferentes a las islas ecológicas, la separación del papel/cartón que las diferentes áreas de la institución generan.

Con mucho agrado se puede observar que muchos de los estudiantes, aunque traen agua en botellas de plástico, éstas las usan más de una vez, con lo que se disminuye la generación de PET.



Figura 4. Diferentes aspectos de la campana de educación en las islas ecológicas

Retos

Todas las actividades humanas tienen éxito en algunas cosas y también áreas de oportunidad o retos y desafíos, algunos de estos son:

- Buscar implementar un control de los reportes semestrales que se generan, esto es que la supervisión que se da a los encargados del pesaje sea más eficiente para evitar posibles desviaciones en los datos presentados.

- Implementar un sistema más efectivo de promoción y motivación para que todos los miembros de la institución depositen sus residuos en los contenedores según su color, este es el reto principal.
- Que todos los miembros, nos comprometamos a ser parte activos de este programa

Agradecimientos

Este trabajo se pudo llevar a cabo gracias a la colaboración, por una parte, del departamento de servicios generales quienes son los encargados de acopiar y pesar los residuos que se generan y por la otra a la dirección de la institución quien nos permitió analizar la documentación pertinente a los RSU.

Referencias Bibliográficas

[1] CNUMAD. 2002. Conferencia de la Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. En línea <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>. Recuperado el 1 de Mayo de 2016.

[2] TecNM. 2012. Manual y Procedimientos del Sistema de Gestión Ambiental del Tecnológico Nacional de México. En línea www.tecnm.mx/sga. Recuperado el 2 de Mayo de 2016.

[3] ARMS. 2015. American Register of Management System, LLC. Informe de Auditoria. Documento interno.

Situación actual del manejo de residuos de la construcción, demolición y su impacto socio-ambiental en una ciudad fronteriza del norte de México.

¹M.C. Salazar Briones Carlos, ²Dra. Hallack Alegría Michelle, ³Dr. Favela Ávila Hugo

¹Profesor de tiempo completo de la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Avenida de la normal s/n colonia insurgentes este C.P. 21280; tel. 5664270, csalazar86@uabc.edu.mx ²Profesora de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. ³Profesor de asignatura de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California.

Resumen

El aumento en la generación de Residuos de la Construcción y Demolición, genera retos para organizaciones responsables en lo que a gestión se refiere. La falta de un plan de manejo integral de los Residuos de la Construcción y Demolición en el municipio de Mexicali, México, provoca una diseminación en su disposición, generando un posible aumento en el número de tiraderos clandestinos, afectando drenes, canales, la zona riparia del Río Nuevo y el complejo lagunar de esta ciudad. En este trabajo se presenta con un carácter descriptivo el manejo de los Residuos de la Construcción y Demolición, donde se tomaron en cuenta cuatro aspectos de interés; 1. Ubicación de los sitios de recepción autorizados en el sitio de estudio, 2. Aplicación de un instrumento tipo encuesta dirigido a transportistas, 3. Determinación de prácticas de manejo y disposición actual de estos residuos, 4. La caracterización en casas abandonadas de un fraccionamiento típico de interés social en la ciudad. En esta investigación se muestra la existencia de un único sitio autorizado para la disposición de estos residuos, con inconsistencias de manejo y evidencias de diseminación de por la ciudad, provocando impactos ambientales y paisajísticos en la ciudad.

Palabras Clave: RCD, Generación, Manejo, Impacto, Ambiente.

1. Introducción

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2003) clasifica a los residuos en: peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial. Los residuos generados en la industria de la construcción y demolición, son considerados como residuos de manejo especial, definidos como: "... aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos..." [1]. La gestión adecuada de los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) generados en diversos sitios requiere de una estimación de datos de generación [2].

En el Estado de Baja California a partir de la publicación de la Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Para el Estado de Baja California, en septiembre del 2007. La situación ha ido cambiando, aunque obedeciendo más a la realidad socioeconómica de la entidad que a la normatividad vigente. Por ello en la actualidad, uno de los problemas ambientales que enfrenta la ciudad es la cantidad de residuos de la construcción y demolición (RCD) que se generan, estos al momento carecen de una gestión adecuada que promueva su reúso o reciclaje y cuya generación asciende en Baja California a unas 42,735.04 toneladas en el año 2011 [3].

La falta de información sobre los RCD genera la operación no adecuada, aportando un aspecto negativo en el medio ambiente. El 90% de los 13 millones de toneladas de materiales inertes que se generan cada año, acaban en vertederos y sólo un 5% se recicla [4]. En este trabajo se presenta la situación actual de los RCD en la ciudad de Mexicali Baja California México, en donde no se tienen datos de control de la generación, manejo y disposición de estos residuos.

La estimación de generación de RCD requiere de una serie de datos, en donde se involucre la cantidad y las características de estos residuos, estos datos son muy importantes para determinar correctamente el sistema de gestión que se utilizara para promover las políticas públicas, reglamentos y esquemas de participación social e industrial para el aprovechamiento y manejo de los RCD [5]. Para cualquier tipo de obra, desde un muro perimetral, hasta una carretera o una zona habitacional, estas se requieren grandes cantidades de materiales y a su vez los residuos generados siguen siendo uno de los principales problemas a los que se enfrentan las autoridades, ya que los mecanismos de control son escasos, proliferando los tiraderos a cielo abierto con todas las implicaciones ambientales, paisajísticas y económicas.

En el caso de Baja California, y particularmente Mexicali, se prevé un aumento en la inversión pública y privada en obras civiles debido al crecimiento poblacional y la inherente demanda de infraestructura urbana, tal como lo establece el Plan de Desarrollo Municipal de Mexicali (PDMM) 2014-2016. El sector de la construcción es una actividad que utiliza y genera grandes volúmenes de material desde el momento de la obtención de las materias primas, hasta la producción de otros materiales, tanto para la realización de obras como en demoliciones. Esta actividad no suele ser muy contaminante en comparación con otros sectores de la industria (los materiales utilizados suelen ser casi siempre inertes), pero presenta importantes impactos al medio natural por el elevado volumen de residuos que se generan.

2. Metodología/Desarrollo

Este trabajo fue realizado en la ciudad Mexicali que es la capital del estado de Baja California localizada en 32°39'48", 115°28'04", a una altitud de 3 metros sobre el nivel del mar (msnm). Presenta temperaturas extremas, siendo la temperatura mínima extrema de -8 °C y la máxima de 52 °C (SMN 2011). Concentra una población de 936 826 habitantes distribuidos entre la zona urbana y su valle [6].



Figura 1: Posición geográfica del área de estudio (Elaboración Propia)

Mexicali se caracteriza por su actividad agrícola, industrial y turística, destacándose la actividad del sector terciario (comercio, servicios y turismo) que absorbe al 52.10 % de la población ocupada, a su vez el 44 % se emplea en servicios de hoteles y restaurantes [7].

En esta investigación se presenta un trabajo descriptivo dividido en cuatro partes generales; 1. Ubicación de los sitios autorizados para la recepción de RCD, 2. La aplicación de un instrumento (encuesta) a transportistas de RCD que operan en la ciudad, 3. Con la información recabada se generó los costos de manejo y disposición actual de los RCD, 4. Se realizó un estudio de caracterización de RCD en casas abandonadas de interés social.

2.1 Ubicación de los sitios autorizados para la recepción de RCD.

Se realizó una revisión bibliográfica de datos otorgado por la Secretaría de Protección al Ambiente (SPA) para determinar el marco jurídico y las facultades de los diferentes actores, sobre el otorgamiento de las autorizaciones correspondientes de un sitio de disposición para RCD. Se solicitó la ubicación de los sitios autorizados y se revisó el plan de manejo presentado para la disposición de RCD, en el municipio.

Por otra parte se realizaron recorridos por las principales vialidades y fraccionamientos de interés social de la ciudad de Mexicali, así como por el cauce del Río Nuevo, la zona riparia de las lagunas México, Xochimilco y Campestre para documentar fotográficamente los depósitos en la zona urbana de los RCD.

2.2 Aplicación de un instrumento tipo encuesta a transportistas de RCD.

Se aplicó un instrumento de forma censal tipo encuesta con nueve ítems dividida en 4 partes, primero: sobre el tipo de actividad que se realiza, segundo: la zona donde se presta el servicio, tercera: el costo de la operación y cuarto: el conocimiento sobre los residuos ante la ley. Para este efecto se realizaron recorridos por varias zonas de la ciudad para ubicar establecimientos dedicados a la venta de materiales de la construcción y pétreos (grava, arena, tucuruquay, etc.), que también ofrecen el servicio de recolección de RCD, una vez ubicados se realizó la encuesta, tratando siempre de ubicar al dueño del negocio y/o al encargado, cuando esto no era posible por no encontrarse en el establecimiento, se repetía la visita en otro horario o en un día posterior.

2.2.1 Costos de manejo y disposición actual de los RCD.

Los costos de operación (carga y acarreo) y disposición final de RCD se calcularon en base a los datos recabados en el instrumento de encuesta aplicado a transportistas, con estos datos se obtuvo un promedio del costo de manejo de los RCD. En este punto se buscó representar el costo que los habitantes de la ciudad de Mexicali Baja California, tienen que cubrir para el manejo de los RCD que se genera en las obras de remodelación y/o construcción, así como las condiciones de servicio.

2.3 Caracterización de RCD's.

La falta de información referente a censos o conteos para el municipio de Mexicali, genera la necesidad de realizar un análisis de clasificación de RCD. En este caso se propuso la metodología desarrollada por Cruz et al. 1996 (ecuación 1); que fue adaptada en el Plan de Gestión de RCD de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción [8].

Para determinar la composición y estimar el volumen de los RCD en la zona urbana de Mexicali, se realizó un trabajo en tres etapas. 1. Clasificación y cuantificación de RCD en el fraccionamiento Casa Digna tomando en cuenta el método de cuarteo descrito en la norma NMX-AA-015-1985 y adecuando para el análisis de RCD. 2. Se visitó el centro de disposición autorizado por la Secretaría de Protección al Ambiente (SPA) en la ciudad de Mexicali donde se tomó para fines de este estudio como unidad de medida, el camión recolector y su capacidad de carga. En este punto particular se decidió que al no contar el centro de acopio con una báscula para el pesaje de los RCD, y siendo el criterio de cobro, la capacidad del vehículo en m³, se optó por manejar este criterio para estimar el costo del prestador del servicio por la disposición de los RCD, 3. Se realizó una serie de recorridos por diferentes zonas de la ciudad, para identificar los sitios impactados por estos residuos para posteriormente generar un mapa de ubicación geo referenciado por medio del software ArcGis.

2.6. Ecuaciones

Para el cálculo de generación de RCD en Mexicali, se utilizó la metodología propuesta por Cruz et al. De 1996, [9] que es la metodología adoptada para el Plan de Gestión de RCD, de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción [10].

Donde:

$$G_{RC} = M_C F_V i P_{RC} \quad (1)$$

G_{RC} = Generación de Residuos de la Construcción (Ton).

M_C = Superficie de Obra Construida (m^2).

F_V = Factor de Volumen de Obra ($0.85 m^3/m^2$).

i = Porcentaje de Residuos de Construcción por m^3 (6.8%).

P_{RC} = Peso Volumétrico Promedio de RCD ($1.5 ton/m^3$).

. Discusión y Resultados.

La Secretaria de Protección al Ambiente del Gobierno del Estado de Baja California, autorizó mediante la resolución administrativa SPA-MXL-2679/2015 2.3.E-105/2015 en Junio del 2015, el sitio de disposición de RCD, en el kilómetro 20 de la carretera Mexicali- San Felipe, delegación Cerro Prieto, en una área de $140,838.5 m^2$, dentro de un predio de $279,896.4 m^2$ (Figura. 2).

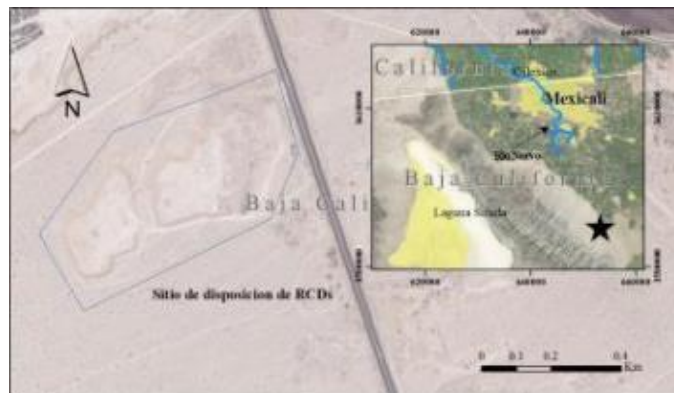


Figura 2. Sitio de disposición autorizado por la SPA. Para el municipio de Mexicali.

La zona ha sido explotado por más de 30 años como un banco de materiales pétreos de donde se extraen arenas, gravas, tucuruguay; generando impactos sobre el sitio de explotación, específicamente reposición de suelos provocando oquedades utilizadas principalmente para la disposición y confinamiento de RCD (Figura 3).



Figura 3: Sitio de explotación de materiales pétreos, en el Ejido Hipólito Rentería

La autorización del impacto ambiental de dicho centro de disposición, establece el propósito de llevar a cabo la “Recepción de escombros (residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general) para el relleno de dos oquedades que resultaron de la extracción de materiales pétreos”. En el mismo documento se indica que el promovente del mismo que es el ejido Hipólito Rentería, se compromete a que la recepción de materiales se llevará a cabo conforme a lo establecido en la norma oficial mexicana NOM-

083-SEMARNAT-2003, además establece que el plan de trabajo que integra el proyecto cuenta con consideraciones del manejo de celdas, inspección y peaje de los residuos, donde se pesaran previamente a ser confinados, conformación de las celdas, inclinación de taludes, compactación de los residuos y manejo sustentable de los mismos. En las visitas que se realizaron al sitio de disposición de los RCD, estas prácticas no se realizan (Figura 4).



Figura 4. Prácticas de disposición de los RCD en el sitio autorizado del Ejido Hipólito Rentería.

En la actualidad los camiones que disponen en el sitio no son inspeccionados por ninguna autoridad lo que provoca que los residuos estén mezclados es decir: RCD, residuos sólidos urbanos (RSU), así como otros residuos de manejo especial (RME), como llantas y electrónicos. El promedio de costos por disposición de RCD, así como las variaciones en la capacidad del vehículo y el precio al público se muestra en la tabla 1, de acuerdo con los resultados obtenidos en la encuesta realizada a los transportistas que prestan el servicio en la zona urbana de Mexicali Baja California.

Tabla 1. Costos de manejo de RCD

Capacidad del vehículo (m ³)	Precio por m ³ en moneda nacional	Total (pesos M.N)
2	\$150.00	\$300.00
7	\$150.00	\$1,050.00
14	\$150.00	\$2,100.00
24	\$150.00	\$3,600.00
30	\$150.00	\$4,500.00

En el caso de la disposición de los RCD, se encontró que se realiza un cobro en el sitio de recepción, con un promedio de 10 pesos el metro cubico, donde el acceso a vehículos de diferentes capacidades es posible (tabla 2), además de que no existe un control de acceso o bitácora para llevar un registro exacto de la cantidad de vehículo que ingresan, el tipo, cantidad y calidad de los residuos que reciben.

Tabla 2. Costos de disposición de RCD

Capacidad del vehículo (m ³)	Precio por m ³ en moneda nacional	Total (pesos M.N)
2	10	\$20,00
7	10	\$70,00
14	10	\$140,00
24	10	\$240,00

La aplicación de la encuesta se realizó de forma censal a catorce negocios que tienen actividad como transportistas de RCD y venden materiales pétreos (arena, grava, limo) y de la construcción (cemento) que operan en la ciudad, las respuestas obtenidas se muestran en la figura 5 a, 5 b.

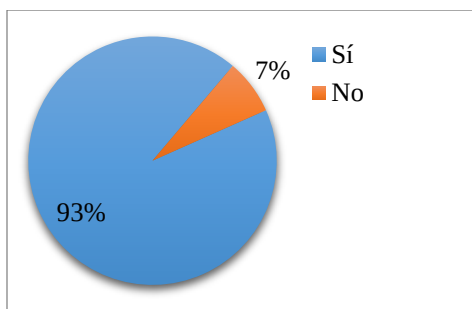


Figura 5 a. Porcentaje de transportistas encuestados, que manifestaron prestar el servicio de carga y acarreo de escombros de obra.

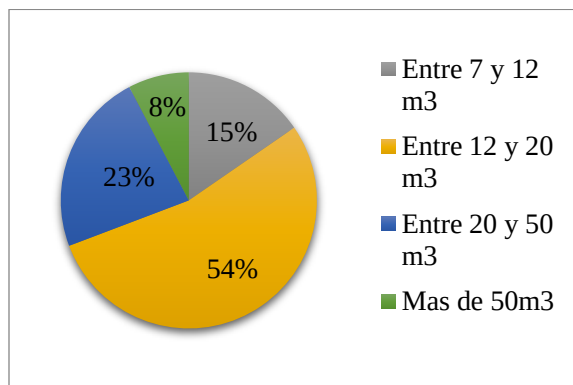


Figura 5 b. Volumen transportado en la semana.

Para estimar el volumen de RCD para el municipio de Mexicali, se obtuvo el dato de licencias otorgadas por el municipio de Mexicali para los años del 2009 al 2013. Y los metros cuadrados autorizados en el mismo periodo, para la estimación de generación de RCD, siguiendo la metodología propuesta por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), modificado a partir de Salazar y Hallack 2016 (tabla 3).

Tabla 3. Licencias de construcción y metros cuadrados autorizados para el Municipio de Mexicali

Año	Licencias en m ²	RCD ton/año	RCD ton/día
2009	181,395	15,727	43
2011	184,490	15,995	44
2012	193,515	16,778	46
2013	1,078,213	93481	256
Nota: El año de 2010 no se reporta en la base de datos del INEG			

Para la Clasificación y cuantificación de RCD en el fraccionamiento Casa Digna se tomó en cuenta el método de cuarteo descrito en la norma NMX-AA-015-1985 [12] y se adecuo el análisis de RCD. (Figura 6 a y 6 b).



Figura 6. (a) Modificación al método de cuarteo propuesto en la NOM. NMX-AA-015-1985 para RCD en campo.

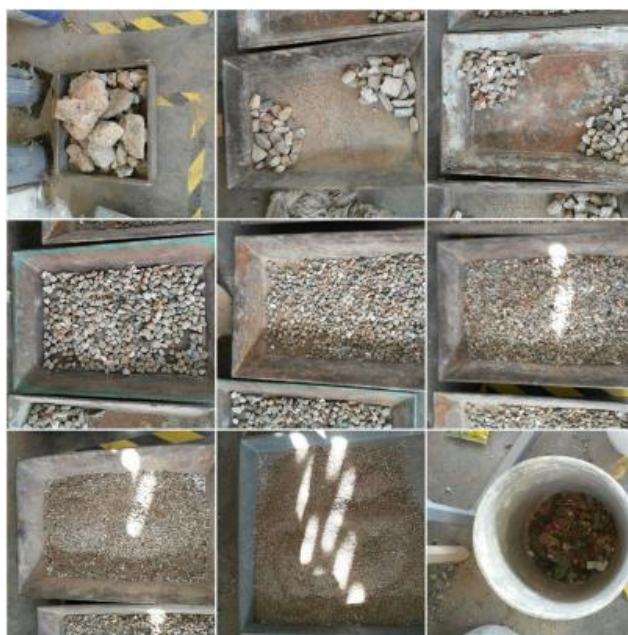


Figura 6. (b) Separación y pesaje de RCD en laboratorio.

En campo primeramente se usaron cubetas de 19 lts., para acarrear el material y concentrarlo en un espacio uniforme, calculando un peso aproximado de 33 kg. Por cubeta llena de RCD's, se llenaron seis cubetas

para alcanzar los doscientos kg de residuos, según el método establecido por la norma (6. a), posteriormente se procedió al cuarteo y se llevó al laboratorio de ingeniería civil, para pesarlo y tamizarlo y para su análisis (6.b).

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 7. Siendo el material producto de la excavación el de mayor volumen, posteriormente tenemos a los agregados pétreos desde 1/16 de pulgada, hasta 1 pulgada y restos de concreto.

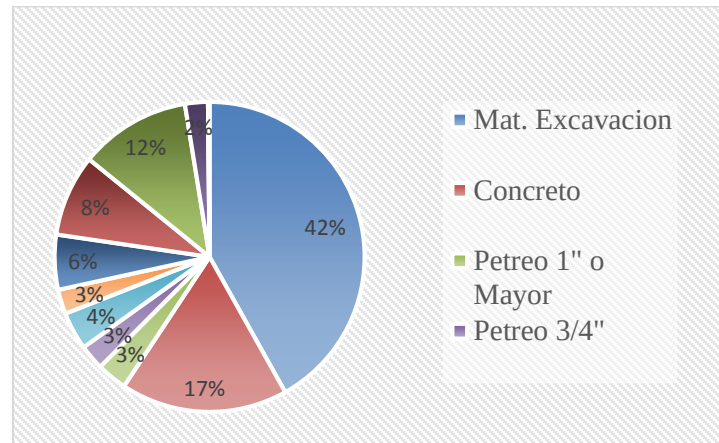


Figura 7. Composición y tamaño de agregados, en el análisis de RCD del área de estudio.

Si bien los resultados muestran las fracciones granulométricas de una mezcla de inertes que mantienen una estrecha coincidencia con la generación promedio de RCD por subproducto que reporto la CMIC en el 2011[13], es necesario realizar otros estudios, para proponer un plan de manejo y alternativas de reuso adecuadas.

En el caso de la ubicación de zonas impactadas por RCD en Mexicali, se pueden observar por toda la ciudad, sobre todo en lotes baldíos, casas abandonadas y terrenos aledaños a carreteras o avenidas principales, sin embargo es en la zona riparia del Río Nuevo, donde se puede apreciar una gran concentración de estos residuos (Figura 8). Gran parte de los RCD, son manejados de una manera informal por personas físicas que utilizan sus vehículos tipo pick up, para realizar este servicio, sin ningún tipo de control, depositando los mismos en drenes y canales, y en las invasiones de las zonas federales, como la zona ríparia del Río Nuevo y el complejo lagunar de Mexicali.

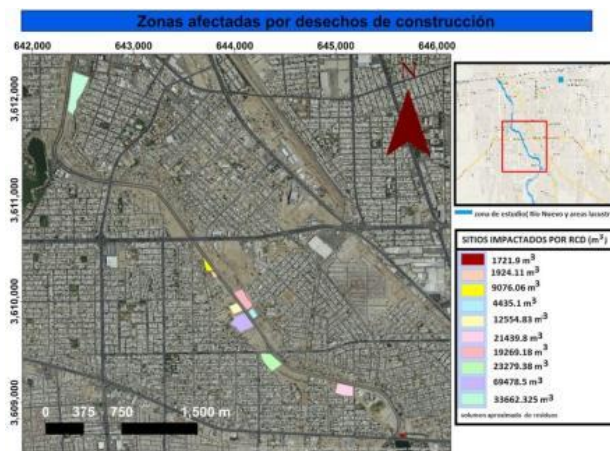


Figura 8. Zonas impactadas por RCD en el Río Nuevo y el Complejo Lagunar de Mexicali. B.C.

4. Conclusiones

Al realizar este trabajo, se pudo constatar que solo a partir de junio de 2015, se contó en Mexicali con un sitio de disposición para los RCD, por lo que anteriormente cualquier forma de disposición no guardaba ningún tipo de control, sin embargo el sitio aprobado por la autoridad ambiental, no cumple con el plan de manejo descrito en su autorización, además se pudo observar que no hay un control real de las autoridades en el transporte de los RCD, ya que hay un gran número de personas que con sus vehículos personales (pick ups) prestan el servicio en diferentes zonas de la ciudad, y que en muchos casos tiran los residuos en la zona riparia del Río Nuevo, para nivelar el terreno y aumentar el área de invasiones en la zona federal.

En cuanto al manejo de los RCD, este trabajo es un primer intento de exponer el problema y buscar las soluciones a los evidentes impactos tanto paisajísticos como socio ambientales y económicos del mal manejo actual de los mismos. Por lo que se propone plantear la posibilidad de contar con un centro de recuperación, reutilización y reciclaje de los RCD para el municipio de Mexicali a fin de cerrar el círculo de vida de estos residuos y acceder a un manejo sustentable de los mismos.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Autónoma de Baja California, por los fondos otorgados dentro de la convocatoria especial para nuevos profesores de tiempo completo, para la realización de este estudio, al Programa Educativo de Ingeniero Civil, por el apoyo y las facilidades otorgadas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Gutiérrez Palacios C., Rivera Mera C. J. (2007) Alternativas para el manejo integral de residuos de la construcción y demolición. Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos. Editoras: Dra. Sara Ojeda Benítez, M.C. Gabriela Lozano Olvera. Universidad Autónoma de Baja California. ISBN 970-735-075-X. Página 348.
- [2] Mercante I., Arena P., Bovea Edo M. (2009) Evaluación de alternativas de gestión de RCD con consideraciones de ciclo de vida. Universidad Nacional de Cuyo. Centro Universitario. CC405. Mendoza. Argentina. Universidad Tecnológica Nacional. (Argentina). Universidad Jaume I. (España).
- [3][9][13] Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción 2013. Plan de manejo de residuos de la construcción y de la demolición. Parques del Pedregal, Ciudad de México.
- [4] MERCANTE, IRMA T. (2006) Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental. Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías", Universidad de Cuyo. ISBN 987-575-044-1
- [5] Mercante I., Zamorano J., Llamas S., Martinengo P., (2011) Situación de la gestión de los residuos de construcción y demolición en Mendoza. Estimación de la generación con objetivos de planificación regional.
- [6] Blanco Fernández D., Pardo Fabregat F., Sanfeliu Montolio T., Gallardo Izquierdo A., Vicente Fortea A.B., Soriano Rodríguez A. (2012) Diseño de una metodología para la cuantificación de los residuos de construcción y demolición: aplicación a la plana de Castellón. Universidad Jaume I. (España).
- [7] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2011. México en Cifras. En línea <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx>> Recuperado el 01/05/2016.
- [8] Gobierno del Estado de Baja California 2013. Nuestro Estado. Mexicali. En línea <http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/mexicali/mexicali.jsp> Recuperado el 01/05/2016.
- [10] REVISTA ARISTAS INVESTIGACIÓN BÁSICA Y APLICADA, año 6, número 9. Universidad Autónoma de Baja California, Ave. Álvaro Obregón sin número, Col. Nueva, Mexicali, Baja California, México. C.P. 21100. En línea <<http://fcqi.tij.uabc.mx/usuarios/revistaaristas/>> Recuperado el 01/05/2016. ISSN 2007-9478 Revista aprobada.

- [11] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE 01/2016). En línea < <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/> > Recuperado el 01/05/2016.
- [12] NORMA MEXICANA NMX-AA-22-1985. (1992) Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Selección y cuantificación de subproductos, Centro de Calidad Ambiental, UNINET.

Estudio de residuos de concreto como material de cobertura en un relleno sanitario

Barbosa Noegerat Luis Antonio, González Díaz Francisco, Turpin Marion Sylvie Jeanne
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas CP. 02200
Delegación Azcapotzalco, Distrito Federal México. Tel. 5318 9545 labn@correo.azc.uam.mx

Resumen

Los residuos de construcción y demolición representan serios problemas ambientales cuando se disponen inadecuadamente, ya que permiten la proliferación de fauna nociva, son precursores de tiraderos clandestinos de todo tipo de residuos, promueven asentamientos irregulares y ocasiona la pérdida de ecosistemas.

Se han desarrollado trabajos de investigación para reutilizar los residuos de construcción y demolición enfocándose sobre todo en ingeniería civil y su reincorporación a procesos de producción de materiales reciclados como los agregados finos y gruesos; por ejemplo, la producción de arena y grava, elaborados a base de concreto reciclado.

El presente trabajo de investigación propone el uso de los residuos de concreto como materiales de recubrimiento adicional al material natural empleado para cubrir los residuos sólidos urbanos en la celda diaria de un relleno sanitario, catalogado por la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 [1] como del tipo A. Este trabajo se centra en las propiedades que posee el concreto reciclado triturado como material absorbente de elementos tóxicos y contaminantes, presentes en los lixiviados generados en un relleno sanitario, asimismo analizar la conductividad hidráulica (k) que se obtiene al intercalarlos con el material natural de cobertura; en este caso es tepetate. Este resultado es fundamental, toda vez que, lo que se busca en un relleno sanitario es evitar la infiltración de los lixiviados al subsuelo y la contaminación de cuerpos de agua, los residuos de concreto intercalada con tepetate pueden funcionar como una barrera de baja permeabilidad que reduce infiltraciones.

Palabras Clave: *Lixiviados, material de recubrimiento, relleno sanitario, residuos de concreto, residuos de construcción y demolición.*

1. Introducción

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan los lugares de disposición final de residuos sólidos urbanos municipales es la contaminación del suelo y de los cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos debido a la generación de lixiviados, mismos que se infiltran a través del suelo contaminando lo que está a su paso. Este problema influye directamente en daños a la salud de las personas y genera la pérdida de ecosistemas. En nuestro país los lixiviados formados en un relleno sanitario carecen de sistemas adecuados para su control, tal como lo sugieren trabajos y documentos oficiales en la materia. Esto es debido a los altos costos operativos que implica el emplear materiales de baja permeabilidad al interior de las celdas del relleno sanitario.

El presente trabajo emplea y utiliza los residuos de construcción y demolición, particularmente los provenientes de residuos de concreto, como un material adicional a la capa de cobertura de las celdas diarias formadas en el relleno sanitario. Las ventajas que presentan estos residuos, es que poseen una alta porosidad abierta, además de contener compuestos químicos que favorecen a la generación de reacciones en cadena para interactuar con algunos parámetros y compuestos considerados como contaminantes [1].

Los parámetros a analizar son los siguientes: alcalinidad total, DQO, dureza total, pH, sólidos, y algunos elementos inorgánicos metálicos como: arsénico, cadmio, calcio, cobre, magnesio y plomo. Estas

caracterizaciones fueron realizadas a lixiviados colectados de manera insitu en un relleno sanitario. Los parámetros se proponen de esta manera debido a que existen trabajos de investigación previos en materia de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios desarrollados tanto a nivel nacional como internacional, donde consideran importante analizar estos elementos [2], [3] y [4].

El fundamento del presente trabajo fue demostrar que los residuos de concreto pueden tener un uso adicional al de materiales agregados y de compactación en la ingeniería civil. Para la ingeniería ambiental estos materiales pueden ser incorporados en las interfases de las capas de recubrimiento de las celdas diarias formadas en el relleno sanitario [5] para absorber elementos químicos considerados como agentes contaminantes potencialmente peligrosos, capaces de infiltrarse a los cuerpos de agua. El estudio se realizó saturando los residuos de concreto con los lixiviados y se analizó su permeabilidad, el lixiviado permeado a través de los residuos de concreto se caracterizó de acuerdo a los parámetros antes mencionados y se compararon con los resultados obtenidos del mismo lixiviado caracterizado antes de infiltrarlo a través los residuos de concreto.

Los residuos de concreto triturado de grado arena, presentaron un coeficiente de conductividad hidráulica (k) media-baja que representa una permeabilidad de 1×10^{-3} m/s, lo cual quiere decir, que es una permeabilidad elevada y que el suelo permite el libre paso de los fluidos que se infiltran a través de él. Sin embargo, si los residuos de concreto se colocan en distintas interfases y por capas con tepetate (que es el material natural empleado en el relleno sanitario estudiado en este caso), el resultado es muy distinto, ya que, el mejor resultado promedio obtenido de las pruebas de permeabilidad dan una k de 5.5×10^{-10} m/s; la NOM-083-SEMARNAT-2003 y otros trabajos [6] piden un coeficiente k de 1×10^{-9} m/s. Por lo tanto, los residuos de concreto más tepetate analizados y compactados en óptimas condiciones, cumplen los requerimientos normativos que estandarizan a un material de cobertura para un relleno sanitario a este material se le denominó interfaz híbrida.

Los residuos de concreto más tepetate se comportan como una membrana anisotrópica de baja permeabilidad, lo que implica que cuando los poros del concreto se han saturado con los elementos absorbidos, se vuelven cada vez más impermeables haciendo que el fluido busque salida superficial o bien permanezca estancada sobre la interfaz formada.

El comportamiento que adquieren las interfases híbridas está determinado fundamentalmente por dos variables: 1) la granulometría del residuo de concreto agregado e intercalado con el material natural de cobertura, y 2) la altura o espesor de la capa de cobertura a formar. Las alturas consideradas para las capas de cobertura fueron propuestas y fundadas con base en distintos argumentos teóricos [7] (trabajos de investigación desarrollados), normativos (NOM-083-SEMARNAT-2003) [8] y experiencias vívidas en complejos de rellenos sanitarios (análisis insitu). Las alturas de los dispositivos empleados para realizar las mediciones y determinar los coeficientes de conductividad hidráulica fueron: 12, 15 y 25 cm de altura; estos dispositivos se saturaron con lixiviados y el fluido permeado se analizó fisicoquímicamente.

2. Metodología/Desarrollo

La metodología constó de siete etapas las cuales se describen a continuación.

2.1 Etapa 1. Obtención y tratamiento de residuos de concreto

En esta etapa, se seleccionaron los tipos de residuos de construcción a emplear, llegándose a la conclusión que solo se emplearían residuos de concreto como material absorbente de agentes contaminantes presentes en los lixiviados formados en el relleno sanitario.

Propuesto de esta manera debido a que existen trabajos de investigación previos donde se establece que el concreto triturado presenta un comportamiento eficiente para reducir agentes contaminantes, tales como

Arsénico [9], Cromo y NOx [10], por citar algunos ejemplos; adicionalmente a ello el concreto es un secuestrador de CO₂ que se encuentra en la atmósfera proveniente de las emisiones de fuentes fijas y móviles [11].

Lo que se pretendió al utilizar este tipo de residuos como material complementario en la capa de cobertura de la celda diaria del relleno sanitario fue: absorber agentes contaminantes presentes en los lixiviados, reduciendo su concentración después de permearlos a través de los residuos de concreto.

La obtención de los residuos de concreto fue a través de una selección previa en el almacén temporal de residuos de construcción del Laboratorio de Construcción de la Universidad Autónoma Metropolitana Plantel Azcapotzalco.

Para la selección de los elementos de concreto se consideró lo siguiente:

- Se emplearon probetas cilíndricas, vigas y elementos constructivos (ver figura1),
- Se eliminaron impurezas: madera, metal, papel y otros residuos de construcción.



Figura 1. Selectividad de residuos de construcción

Posteriormente se realizó una trituración primaria empleando rompedoras mecánicas y manuales tal como se aprecia en la (figura 2); debido a la necesidad de reducir el tamaño de los especímenes y de esta manera pasen sin dificultad por la criba de la tolva de la procesadora de agregados pétreos, toda vez que el ancho de criba es restrictivo y limitado a tamaños de roca menores a 10 cm.



Figura 2. Pre-trituración de residuos de concreto

Fue necesario realizar una trituración secundaria realizada en la Procesadora de Agregados Pétreos apreciable en la (figura 3), para alcanzar el tamaño de partícula del concreto triturado requerido mismo que debe alcanzar un tamaño menor a 4.75 milímetros de diámetro, el cual es similar al de la arena natural comercial. Se propuso de esta manera debido a que es un tamaño de partícula comercializado de manera cotidiana en el mercado de agregados naturales y reciclados.



Figura 3. Material triturado y cribado

Una vez triturados y convertidos en arena, los residuos de concreto fueron cribados para obtener dos tipos de granulometría distintos: la denominación de criba de 4 a 30 (4.75-0.6 mm) y la de 30 a 50 (0.6-0.3 mm) en tamaño de grano.

La tercer granulometría empleada, es la arena tal cual fue triturada por la máquina procesadora de agregados pétreos y que considera tamaños de grano iguales o menores a 4.75 milímetros.

Los residuos de concreto obtenidos y cribados fueron clasificados para su posterior caracterización física, la cual es descrita en la etapa 3.

2.2 Etapa 2. Obtención y caracterización física del suelo empleado como material de cobertura

En esta etapa se consideró visitar al relleno sanitario del municipio de Tlalnepantla Estado de México para obtener de muestras de tepetate. La caracterización física consistió en realizar pruebas Proctor estándar (figura 4) y pruebas de permeabilidad (carga variable) (figura 5).

Las pruebas Proctor; son pruebas de resistencia a la compresión para determinar la cohesión del suelo en estudio; estas pruebas consisten en compactar el suelo removiendo el aire y haciendo más denso el suelo, lo que requiere de energía mecánica. Estas pruebas son realizadas para determinar si el suelo es adecuado para soportar cargas que serán ejercidas sobre él.

Esta prueba permite conocer el porcentaje óptimo de humedad al cual un material alcanza el punto máximo de cohesión en su compactación, es decir que tan fuerte y sólido es para soportar una carga encima de él. Dando pie a la elaboración de la prueba de permeabilidad, la cual nos indicará si el material es permeable, semipermeable o impermeable.



Figura 4. Equipo para realizar la prueba proctor estándar

Las siguientes pruebas desarrolladas fueron las pruebas de permeabilidad. La propiedad de los suelos para permitir el flujo de agua a través de sus vacíos se le llama permeabilidad. Este fenómeno se mide por medio

de un coeficiente denominado de conductividad hidráulica, mejor conocido como coeficiente de permeabilidad (k) y se mide en cm/segundos o bien en m/segundos.

Las pruebas de permeabilidad; son un análisis de flujo de agua importante en las consideraciones de mecánica de suelo para desarrollar un relleno sanitario, siendo necesarios para estimar la cantidad de infiltración subterránea bajo varias condiciones hidráulicas, para investigar problemas que implican el análisis de estabilidad de estructuras de retención de tierras sometidas a fuerzas de infiltración. En la figura 5 se aprecia el permeámetro de carga variable empleado para las pruebas de permeabilidad al tepetate.



Figura 5. Permeámetro de carga variable empleado en las pruebas realizadas al tepetate

El resultado de estas pruebas indicó si el tepetate como suelo arcilloso-arenoso cumple con ciertas especificaciones técnicas consideradas para las capas de cobertura de materiales arcillosos empleados en los rellenos sanitarios y por lo tanto pueden ser utilizados como materiales para tal fin. El propósito de estas pruebas fue determinar si el tepetate cumple con los valores establecidos por la norma oficial mexicana en cuanto al coeficiente de conductividad hidráulico (k), el cual es un indicador para saber qué tan impermeable es un suelo.

2.3 Etapa 3. Caracterización física de los residuos de concreto tratados

Una vez triturados los residuos de concreto hasta obtener el tamaño de grano deseado, se realizaron las siguientes pruebas: de caracterización, granulométricas, de absorción, masa específica, masa volumétrica, pruebas Proctor estándar y Proctor modificada y por último las pruebas de permeabilidad (carga constante).

- La granulometría es una característica propia de todo material granular y se define como la distribución de tamaños de partículas que se presentan en agregados finos y gruesos. El procedimiento del análisis granulométrico se encuentra descrito en la norma mexicana NMX-C-077-ONNCCE-1997.
- La masa volumétrica este método de prueba es realizado con base en la norma NMX-C-073-ONNCCE-2004, se utiliza para determinar la masa por unidad de volumen de una muestra de agregado. El peso volumétrico (PV) de un agregado debe ser conocido para seleccionar las proporciones adecuadas en el diseño de mezclas de concreto.
- La masa específica también es conocida como peso específico, éste método de prueba se realiza implementando la norma NMX-C-165-ONNCCE-2014 como referencia.
- La caracterización de absorción es un método de prueba realizado con base a la norma NMX-C-165-ONNCCE-2014.
- El procedimiento para la Prueba Proctor Estándar se da en la prueba D-698 de la ASTM y en la prueba T-99 de la AASHTO, sin embargo la elaboración de este método de prueba se desarrollo de acuerdo al Manual de prácticas para el laboratorio de geotecnia [12], al igual que la prueba Proctor modificada, con el ajuste de la diferencia de alturas correspondiente.
- Los criterios considerados para el desarrollo del método de prueba para la permeabilidad se establecen en la Guía para realizar pruebas de laboratorio en materiales para terracerías y pavimentos [13]. El análisis para obtener los valores de los coeficientes de conductividad hidráulica

fueron realizados para los dos tipos de permeámetros, el de carga constante y el de carga variable los cuales se obtuvieron de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

Carga Constante

Ese tipo de prueba es utilizada en la determinación del coeficiente de permeabilidad de suelos de granos gruesos. Esa determinación es realizada midiéndose la cantidad de agua que atraviesa la muestra de suelo con la altura de carga (h) constante en un determinado intervalo de tiempo (t), siendo A el área de la sección transversal de la muestra y L su altura (longitud a lo largo de la cual la carga h es disipada). El agua que atraviesa la muestra se recoge en un recipiente para luego ser medida. El cálculo se basa en las ecuaciones de Darcy [14] y [15].

El volumen total de agua Q recolectada se expresa como:

$$Q = Avt = A(ki)t \quad (1)$$

Donde

A = área de la sección transversal de la muestra de suelo

t = duración de la recolección del agua

Además, como

$$i = \frac{h}{L} \quad (2)$$

Donde L = longitud del espécimen, la ecuación anterior se sustituye en la ecuación en la siguiente ecuación y se obtiene

$$Q = A \left(k \frac{h}{L} \right) t \quad (3)$$

O bien

$$k = \frac{QL}{Aht} \quad (4)$$

Carga variable

Se utiliza para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos finos. En estos suelos, el intervalo de tiempo necesario para que se filtre una cantidad apreciable de agua es bastante extenso [14] y [15].

Un arreglo típico de la prueba de permeabilidad bajo carga variable se muestra en la siguiente figura. El agua de una bureta fluye a través del suelo. La diferencia inicial de carga, h₁, en el tiempo t = 0 es registrada y se permite que el agua fluya a través de la muestra de suelo de manera que la diferencia final de carga en el tiempo t = t₂ sea h₂.

La tasa de flujo q del agua, a través de la muestra en cualquier tiempo t se expresa por

$$Q = k \frac{h}{L} A = -a \frac{dh}{dt} \quad (5)$$

Donde

a = área de la sección transversal de la bureta

A = área de la sección transversal de la muestra del suelo

Reordenando la ecuación anterior

$$dt = \frac{aL}{Ak} \left(-\frac{dh}{h} \right) \quad (6)$$

Al integrar el lado izquierdo de la ecuación con límites de tiempo entre 0 y t y el lado derecho con límites de diferencia de carga entre h1 y h2, se obtiene

$$t = \frac{aL}{Ak} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (7)$$

O

$$k = 2.303 \frac{aL}{At} \log 10 \frac{h_1}{h_2} \quad (8)$$

2.4 Etapa 4. Obtención y caracterización de lixiviados del relleno sanitario

Esta etapa abarcó desde la recolección in-situ, transporte, manejo y disposición de las muestras de lixiviados, la caracterización preliminar consiste en el análisis de los siguientes parámetros mencionados en la tabla 1:

Tabla 1. Caracterización de lixiviados colectados en el relleno sanitario

Parámetro	Valores promedio obtenidos
pH	8
DQO (mg/L)	6,282
Alcalinidad como CaCO ₃ (mg/L)	12,586
Dureza total como CaCO ₃ (mg/L)	1,742
Arsénico (mg/L)	0.29
Cadmio (mg/L)	0.00862
Calcio (mg/L)	11.6735
Magnesio (mg/L)	81.93
Plomo(mg/L)	0.1876
ST (mg/L)	17,650
SVT (mg/L)	3,723
SST (mg/L)	1,206
SS (mg/L)	7,1.25

2.5 Etapa 5. Construcción y acondicionamiento de las probetas simuladoras

Esta etapa consistió en el acondicionamiento, armado, construcción y los detalles operativos que implicó la fabricación de los dispositivos empleados durante las pruebas desarrolladas para la obtención de los lixiviados permeados a través de residuos de concreto y tepetate. En esta etapa se consideraron cuatro actividades consistentes en:

1. Diseño y habilitación de moldes metálicos y plásticos
2. Fabricación de collarín de sujeción y seguridad
3. Pruebas mecánicas de compactación
4. Pruebas hidrostáticas para la revisión de fugas

2.6 Etapa 6. Pruebas de permeabilidad

Estas pruebas fueron realizadas tanto para el material caracterizado de residuos de concreto en sus diferentes granulometrías, como para el tepetate. Las pruebas de permeabilidad fueron desarrolladas en dos tipos de permeámetro diferentes; el primero recibe el nombre de “permeámetro de carga constante” utilizado para analizar materiales de tamaño de grano grueso (arenas) y el segundo es conocido como “permeámetro de carga variable”, empleado para analizar materiales limosos-arcillosos.

Las pruebas fueron desarrolladas de acuerdo a las siguientes actividades:

1. Pruebas de permeabilidad al tepetate
2. Pruebas de permeabilidad a residuos de concreto más tepetate
3. Diseño y elaboración de permeámetro de carga constante
4. Pruebas de permeabilidad a residuos de concreto

2.7 Etapa 7. Caracterización de lixiviados permeados por los residuos de concreto

En esta etapa la caracterización se desarrolló de manera muy similar que en la caracterización de los lixiviados colectados directamente en el relleno sanitario, mencionada y desarrollada en la etapa 4, incluyendo los procesos de digestión para las muestras permeadas. Sin embargo dada la naturaleza del concreto, ciertos elementos inorgánicos deben ser analizados de manera distinta. Los análisis a realizarse así como los equipos empleados para la caracterización se citan en la tabla 2.

Tabla 2. Equipo requerido de acuerdo al tipo de metal a analizar

Metal	Equipo de absorción atómica empleado	
	GBC XplorAA	GBC 932AA
Arsénico		X
Cadmio	X	
Calcio	X	
Magnesio	X	
Plomo	X	

3. Resultados

Los resultados obtenidos para la etapa 2 y la etapa 3 se mencionan a continuación en las tablas 3, 4 y 5.

Tabla 3. Resultados de Pruebas proctor estándar y modificadas

MATERIAL	Promedios del Peso Volumétrico Máximo Seco γ_d , (kg/m ³)	Contenido de Humedad Óptimo ω , (%)
Tepetate (MPT)	1463.5	25.6
Arena Gruesa 4-30 mm (MPRCG)	1230	22.4
Arena Fina <30 mm (MPRCF)	1270.5	30.8
Arena sin cribar (MPRCMZ)	1423	23.4

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos de las pruebas Proctor estándar y Proctor modificado realizadas a los materiales propuestos, en el caso de los residuos de concreto se realiza para cada una de las granulometrías y los resultados establecidos en la tabla son los promedios obtenidos. La tabla 3 se interpreta como las cantidades de agua que necesita el tepetate y residuos de concreto al momento de hacer la prueba, para conocer el % de agua absorbida por el suelo se debe obtener una muestra húmeda del corazón del material compactado contenido en el interior del molde, se deja secar en un horno por 18 horas a 100 °C y la diferencia de los pesos entre los materiales seco y húmedo se registran y se grafican, el punto de inflexión es el contenido óptimo de humedad.

Tabla 4. Resultados de caracterización a residuos de concreto

Propiedad física	Resultado
Granulometría	67.76 % retenido en criba 4.75-0.6mm 32.24 % retenido en criba < a 0.6mm
Masa específica	1.78 kg/dm ³
Masa volumétrica	931 kg/m ³
Absorción	18.53 %

La tabla 4 menciona los resultados obtenidos para 4 parámetros físicos realizados previos al desarrollo de las pruebas de permeabilidad.

La tabla 5 muestra los resultados obtenidos de los distintos materiales y granulometrías empleados para obtener los coeficientes de permeabilidad (k).

Anteriormente, en la tabla 1 se presentaron los resultados de la etapa 4 y son respecto de la caracterización de los lixiviados del relleno sanitario, éstos resultados son obtenidos antes de permearlos a través de los residuos de concreto o tepetate. Los resultados de esta caracterización se comparan con los resultados obtenidos de la caracterización realizada a los lixiviados permeados por los residuos de concreto, mismos que son referidos en las tablas 6 y 7.

Tabla 5. Resultados de permeabilidad

Granulometría de la arena tamaño de criba (mm)	Espesor o altura de material en la probeta (cm)		Tamaño de la probeta (cm)	Resultados obtenidos para los coeficientes de permeabilidad (k)	
	Tepetate	Residuos de concreto (RC)		Blanco (m/s)	Muestra (m/s)
Residuos de concreto más tepetate					
4 – 30 gruesa	15	10	25	6.5E-09	7.1E-09
< 30 fina	15	10	25	5.5E-10	5.5E-10
Sin cribar	15	10	25	1.3E-09	1.5E-09
Residuos de concreto					
Sin cribar		25	25	1.3E-09	4.0E-06
< 30 fina		25	25	1.3E-09	3.3E-06
Sin cribar		16	16	3.87E-09	1.6E-05

La tabla 6 ya hace referencia a los resultados obtenidos de la caracterización para los lixiviados permeados a través de los residuos de concreto de las distintas granulometrías. Las siglas ST corresponde a los sólidos totales, SST corresponde a los sólidos suspendidos totales y el SV corresponde a los sólidos volátiles.

Tabla 6. Resultados de caracterización a pruebas de permeabilidad

Tipo de Muestra y tamaño de probeta	pH	Alcalinidad mg/L como CaCO ₃	Dureza mg/L como CaCO ₃	DQO mg/L	ST	SST	SV
	unidades						

Valores obtenidos del lixiviado natural							
	8	12586	1742	6282	17650	1206	3723
Arena de Residuos de concreto							
Arena sin cribar, probeta de 25 cm	11	1817	372	1790	NA	NA	NA
Arena sin cribar, probeta de 16 cm	10	3930	384	3650	NA	NA	NA
Arena de Residuos de concreto + Tepetate							
10 cm de Tepet + 6 cm de RC sin cribar	8	280	3319	544	6329	139	1525

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los análisis de algunos metales del lixiviado permeado. En la tabla 7 se citan los metales analizados a través de procesos de absorción atómica. Todas las concentraciones están reportadas en mg/L; en el caso de la muestra ABSA 2 no se desarrolló la prueba toda vez que el matraz que contenía el digerido se selló y fue imposible abrirlo, por esta razón se establece NR (no realizada), otra nomenclatura incluida en la tabla 7 es la de ND (no detectada), y quiere decir que al tratarse de cantidades muy pequeñas en su concentración el equipo de absorción atómica no los detecta, por lo tanto son prácticamente despreciables.

Tabla 7. Resultados de caracterización para metales, lixiviados permeados

Muestra	Co final en el Lixiviado (mg/L) As	Co final en el Lixiviado (mg/L) Ca	Co final en el Lixiviado (mg/L) Cd	Co final en el Lixiviado (mg/L) Mg	Co final en el Lixiviado (mg/L) Pb
ABSA 1	0.2877	11.6735	0.00862	81.93	0.1876
ABSA 2	NR	NR	NR	NR	NR
ABSA 3	0.0734	607.625	ND	441.2	0.0509
ABSA 4	0.0426	865.04	ND	4.114	0.11423
ABSA 5	0.0133	216.49	0.00896	15.124	0.1149
ABSA 6	0.1019	704.12	ND	8.316	0.086
ABSA 7	0.0959	1418.35	ND	3.877	0.07576
ABSA 8	0.1275	740.82	0.00889	12.976	0.07551
ABSA 9	0.1816	1328.5	0.00886	7.968	0.142
ABSA 10	0.1329	256.4	ND	5.012	0.135
ABSA 11	0.0790	1907.1	0.00898	18.798	0.1439
ABSA 12	0.0655	226.75	ND	16.994	0.1301
ABSA 13	0.0761	291.42	0.00881	17.098	0.1458
ABSA 14	0.0813	291.42	ND	3.165	0.0944
ABSA 15	0.0771	234.75	ND	8.676	0.1158
ABSA 16	0.0694	856.16	ND	3.428	0.1457
ABSA 17	0.0875	1052.335	ND	475.2	0.235

4. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos de las distintas pruebas realizadas se concluye lo siguiente:

La colocación de los residuos de concreto en capas sumado a la adecuada compactación que se tenga sobre los materiales de cobertura, funcionan como un excelente medio filtrante de impurezas y de materia particulada presente en los lixiviados del relleno sanitario, reduce la turbiedad de los mismos incluyendo el contenido de sólidos.

La alcalinidad se debe en mayor medida al CO₂ absorbido por el fluido en su trayecto, los lixiviados al estar en contacto con las celdas que en su interior tienen demasiadas reacciones físicas y químicas incluyendo la

formación de CO_2 , las cuales adquieren una alcalinidad elevada; sin embargo, una vez que entran en contacto con los residuos de concreto y tepetate las concentraciones de alcalinidad total se reducen considerablemente debido a la interacción entre el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con el CO_2 transformándolo en $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ el cual tiene un pH más neutral.

La Demanda Química de Oxígeno DQO se reduce de manera considerable, debido a que las probetas y los materiales compactados depuran los lixiviados evitando el arrastre de la materia particulada y orgánica, sólidos y otros elementos que sean factor para incrementar la cantidad de microorganismos presentes.

La dureza se asocia a la presencia de un alto contenido de sales minerales, en particular sales de magnesio y calcio, en este caso el incremento de la dureza se da por dos vías:

- Por la naturaleza de los materiales naturales empleados durante la prueba ya que por ejemplo el tepetate contiene altos niveles de sílice y magnesio.
- El principal material que constituye el concreto es el calcio.

El pH se incrementa debido a la basicidad que contiene el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ de los residuos de concreto.

En cuanto a los análisis de los metales propuestos, se concluye lo siguiente:

- A pesar de no rebasar los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la normatividad oficial mexicana, los niveles contenidos de Arsénico en las muestras de lixiviados son reducidos en todas las pruebas de los distintos materiales empleados, esto quiere decir que el concreto si interactúa con el concreto transformándolo en otros elementos de Arsénico por ejemplo el arsenato de calcio haciéndolo menos tóxico.
- Se incrementan los valores de Calcio debido a la constitución natural del cemento toda vez que contiene $\text{Ca}(\text{OH})_2$ entre sus principales componentes.
- De igual forma se incrementan los valores de Magnesio de manera considerable, debido a la naturaleza del tepetate, gracias a la presencia de sales de magnesio, silicatos, iones de calcio potasio y sodio.
- Las cantidades de Cadmio y Plomo se encuentran dentro de los LMP, además de los niveles establecidos en otros trabajos de investigación como artículos y otras fuentes de evidencia documental.

Las capas de tepetate y residuos de concreto demuestran ser más impermeables, superando los valores mínimos de conductividad hidráulica en distintos trabajos de investigación, así como en distintas normas internacionales que consideran al emplear materiales de cobertura en las celdas unitarias del relleno sanitario.

Finalmente se concluye que el incorporar los residuos de concreto como material de cobertura en un relleno sanitario es una opción loable para la disposición de este tipo de elementos.

5. Referencias

- [1] Gokce, A., Nagataki, S., Saeki, T. & Hisada, M., 2004. Freezing and thawing resistance of air-entrained concrete incorporating recycled coarse aggregate: The role of air content in demolished concrete. *Cement and Concrete Research*, Issue 34, pp. 799-806.
- [2] García, H., Rico, J. & García, P., 1996. Comparison of anaerobic treatment of leachates from an urban-solid-waste landfill at ambient temperature at 35° C. *Bioresource Technology*, Issue 58, pp. 273-277.
- [3] Méndez, R. y otros, 2004. Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario. *Ingeniería*, 8(2), pp. 155-166.

- [4] Qasim, S. R., (1994) Sanitary Landfill Leachate (Generation, control and treatment). Boca Raton, FL: CRC PRESS.
- [5] Ilknur, B. & Erol, G., 2006. Laboratory and field testing for utilization of an excavated soil as landfill liner material. *Waste Management*, Volumen 26, pp. 1277-1286.
- [6] Declean, O. S. & Paul, Q., s.f. Geotechnical Engineering & Environmental Aspects of Clay Lines for Landfill Projects. Fehily Timoney & Co. Irish Geotechnical Services Ltd.
- [7] Secretaría de Desarrollo Social SEDESOL. (S/F). Manual de Operación del Relleno Sanitario. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio. México
- [8] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. (2003). NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. *Diario Oficial de la Federación*. México
- [9] Sasaki, T. y otros, (2014). Preparation and performance of arsenate (V) adsorbents derived from concrete wastes. *Waste Management*, Issue 34, pp. 1829-1835.
- [10] Ramakrishnan, G. & Orlov, A., 2014. Development of novel inexpensive adsorbents from waste concrete to mitigate NOx emissions. *Building and environment*, Issue 72, pp. 28-33.
- [11] Engelsen, C., Mehus, J., Pade, C. & Henning, D., 2005. Carbon dioxide up taken in demolished and crushed concrete. s. l. Nordic Innovation Center. Project report 395-2005.
- [12] Domínguez, R., Hernández, S., Almanza, F. & Juárez, J., 2001. Manual de prácticas para el laboratorio de geotecnia. México, DF: Universidad Autónoma Metropolitana.
- [13] Domínguez, R., Hernández, S., Martínez, P. & Almanza, F., 1999. Guía para realizar pruebas de laboratorio en materiales para terracerías y pavimentos. México DF: Universidad Autónoma Metropolitana.
- [14] Secretaría de Recursos Hidráulicos. (1967) Mecánica de Suelos. Instructivo para ensaye de suelos. Editado por la Dirección de Información de la Dirección General de Proyectos. México, DF.
- [15] Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A. (2005) Mecánica de suelos. Fundamentos de mecánica de suelos. Tomo 1. Editorial Limusa. México, DF.

Manejo, tratamiento y/o disposición final de los medicamentos caducos del sector veterinario en el valle de México

Ana Belem Piña Guzmán, Omar Prado Rojas, María Guadalupe Ramírez Sotelo, Fabián Robles Martínez
Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional.
Dirección: Av. Acueducto, S/N Barrio La Laguna-Ticomán, Distrito Federal – Delegación Gustavo A. Madero – C.P.07340
México Tel.:+52(55)5729-6000 Ext: 56470 – Fax: 56305. froblesm@ipn.mx

Resumen. Actualmente, en México los medicamentos caducos del sector veterinario son clasificados como residuos peligrosos según la NOM-052-SEMARNAT-2005 y su fecha de caducidad es establecida con base en la NOM-073- SSA1-1993; sin embargo, la mayoría son tratados como residuos sólidos urbanos o son desechados al drenaje. Con el objetivo de conocer la situación actual del manejo de estos residuos, se aplicó una encuesta a médicos veterinarios y encargados de clínicas veterinarias o establecimientos que comercializan artículos para mascotas en el Valle de México, la cual arrojó información relevante sobre el panorama actual del manejo de estos residuos, medicamentos de mayor demanda y el grado de conocimiento de los mismos. Los médicos veterinarios y responsables de establecimientos veterinarios están conscientes de que sus establecimientos pueden generar residuos peligrosos, pero desconocen la existencia de normas que regulen el manejo de los medicamentos veterinarios caducos. Los grupos de medicamentos veterinarios de mayor demanda son antibióticos (Enrofloxacin), desparasitantes (Fenbendazol) y diversas vacunas. Solo en el 49% de los establecimientos se manejan adecuadamente los medicamentos vencidos, en el 13% los desechan en la basura común y en el 11% los vierten al drenaje. El manejo y destino final de los medicamentos caducos del sector veterinario debe legislarse y monitorearse, para evitar un severo desequilibrio ecológico, pues se evitaría su presencia en el ambiente, previniendo los posibles daños en suelo, cuerpos de agua, mantos acuíferos, organismos animales, vegetales y microorganismos.

Palabras Clave: *caducidad; disposición de medicamentos; manejo; residuo veterinario*

1. Introducción

A nivel global, México es uno de los principales mercados de insumos para la salud y es el segundo mercado más grande de América Latina para la industria farmacéutica. La fabricación de preparaciones farmacéuticas es la segunda actividad más importante de la economía mexicana, en el sector privado. México se ha posicionado como uno de los principales centros manufactureros del sector farmacéutico a nivel mundial, pues 14 de las 15 principales empresas a nivel internacional se encuentran ubicadas en el país. La solidez y competitividad de la industria farmacéutica establecida en el país se fundamenta en el bajo costo de manufactura y en la ubicación geográfica privilegiada, ya que México es el nodo de conexión entre el mercado asiático, el norteamericano y el europeo. Actualmente esta industria cuenta con 130 plantas de producción de medicamentos y genera 80 mil empleos directos y 300 mil puestos de trabajo indirecto. De acuerdo con la Cámara Nacional de la Industria Farmacéutica (CANIFARMA), la industria farmacéutica representa en promedio el 1.2% del PIB nacional y 7.2% del PIB manufacturero [1]. Por la importancia económica que reviste esta industria en México, la Cámara Nacional de la Industria Farmacéutica (CANIFARMA) la representa ante las autoridades sanitarias. Esta cámara se integra por las especialidades en medicamentos de uso humano, medicamentos de uso veterinario y dispositivos médicos. La Sección Industria Farmacéutica Veterinaria (INFARVET) de la CANIFARMA, presentó en el periodo 2007-2013 un crecimiento anual compuesto de 6.9%, lo que en términos absolutos representa un incremento de 2,778 millones de pesos [2].

Por otro lado, en 2013, en México se estimó que había una mascota por cada cuatro habitantes [3] y la Consulta Mitofsky en 2014 reportó que el 55% de los hogares en México tienen mascotas (generalmente perros) [4], por lo que si inferimos estos datos al Estado de México, que cuenta con 16.64 millones de habitantes en 4.138 millones de hogares, se puede estimar que esta entidad cuenta con un aproximado de

2.27 millones de hogares con mascotas, mientras que en la Ciudad de México con 2.646 millones de hogares y 9.06 millones de hab., tendría 1.45 millones de hogares con mascotas. Por todas estas estadísticas, es claro que la cantidad de establecimientos veterinarios que se necesitan para satisfacer la demanda de atención de los propietarios de estas mascotas, así como de medicamentos, se suponen muy altas. Consecuentemente, se supone también alta la generación de medicamentos caducos y residuos de medicamentos en los establecimientos de atención veterinaria. Dichos residuos, al menos en el rubro de salud humana, son clasificados como residuos peligrosos según la NOM-052-SEMARNAT-2005 [5]. No obstante que en México se cuenta con una normatividad que regula la producción de medicamentos, no se cuenta con una en específico que regule la disposición de los residuos de medicamentos del tipo veterinario y más aún, que aborde la forma adecuada en que debe dársele tratamiento una vez que su fecha de caducidad es rebasada.

Un medicamento se considera caduco una vez que su fecha de caducidad, establecida de acuerdo a la NOM-073-SSA1-1993 [6], es rebasada. La fecha de caducidad se establece con base en su formulación y sus características fisicoquímicas, microbiológicas y biológicas, las cuales determinan su calidad, estrictamente controlada en los laboratorios y establecimientos donde éstos se elaboran, de acuerdo a las Buenas Prácticas de Manufactura. A pesar de ello, una vez que ha expirado la fecha de caducidad de un medicamento, o bien se han incumplido las condiciones de almacenamiento recomendadas, su buena calidad deja de garantizarse. Por lo tanto, idealmente los medicamentos caducos y sobrantes de medicamentos deberían ser desechados y puestos a disposición de empresas especializadas en el manejo y disposición final de los mismos. Esto se cumple en cierta medida solo para los medicamentos de uso humano, para los que la normatividad es clara, pero no para los de uso veterinario, para los cuales es ambigua. Apenas a finales de la década pasada, en México se comenzó a recolectar y dar tratamiento a los medicamentos caducos de uso humano, ya que por iniciativa de la CANIFARMA, en el año 2008 se creó el Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases de Medicamentos (SINGREM), cuya misión es precisamente la de atender los problemas generados por los medicamentos caducos. Sin embargo, la falta de interés o de conocimiento por parte del personal involucrado en el manejo de este tipo de residuos ha propiciado que, en el sector veterinario, la manera de desechar los medicamentos caducos y sobrantes de medicamentos, sea inadecuada, tratándose como residuos municipales o bien siendo vertidos en el drenaje. El presente trabajo, apoyado en una encuesta en establecimientos veterinarios del Valle de México, pretende aportar información sobre el manejo actual de los medicamentos veterinarios caducos con base en los medicamentos de mayor demanda, su forma de manejo, tratamiento y/o disposición final.

2. Metodología.

En virtud de que el presente trabajo es un estudio piloto, como instrumento para la obtención de información se diseñó un cuestionario que fue aplicado a las fuentes generadoras de medicamentos veterinarios caducos y sobrantes de medicamentos en la zona del Valle de México. Es decir, establecimientos privados de atención veterinaria distribuidos en la Ciudad de México (CDMX) y el Estado de México, tratando de aplicar el mayor número posible de cuestionarios. Dicho instrumento constó de nueve preguntas que indagaron en general acerca de los medicamentos más empleados, el manejo de los desechos generados en los establecimientos encuestados, así como de las principales empresas proveedoras de medicamentos y las involucradas en el manejo y disposición de sus residuos farmacéuticos. De igual manera se indagó en relación al conocimiento que tienen los encuestados acerca del impacto ambiental y a la salud del manejo inadecuado de los medicamentos caducos, así como de la normatividad vigente en relación al tratamiento y disposición final de este tipo de residuos. Las preguntas de los cuestionarios aplicados se enlistan enseguida:

1. Enumere los 5 grupos de medicamentos más utilizados en su establecimiento.
2. Proporcione tres nombres de cada grupo de medicamentos utilizados.
3. Proporcione el nombre de la(s) empresa(s) responsable(s) del abastecimiento de los medicamentos
4. ¿Está usted consciente de que su establecimiento puede generar desechos peligrosos?
5. ¿Se han caducado medicamentos veterinarios en su establecimiento?

6. ¿Qué hace usted con los medicamentos caducos y sobrantes de medicamentos que se generan en su establecimiento?
 - Los desecha en la basura común
 - Los sigue utilizando
 - Los desecha en la tarja, en el lavabo o en la alcantarilla
 - Contrata una empresa dedicada al retiro de los medicamentos caducos
 - Otro (Cuál)
1. Mencione el(los) nombre(s) de la(s) empresa(s) responsable(s) del retiro de los medicamentos veterinarios caducos.
2. ¿Sabe usted que impacto en el ambiente o en la salud tiene el manejo inadecuado de los medicamentos caducos?
3. ¿Tiene conocimiento sobre alguna regulación (normatividad) aplicable al manejo de los medicamentos caducos? Menciónela.

3. Resultados y discusión

De un total de 162 cuestionarios aplicados, se tuvo un porcentaje de respuesta del 69.1%, por lo que se cuenta con información de 112 establecimientos veterinarios de la zona abordada. La tabla 1 muestra el número de cuestionarios aplicados.

Tabla. 1. Encuesta realizada y lugar de aplicación de cuestionarios.

Delegaciones de la CDMX	Cuestionarios aplicados	Municipios del Estado de México	Cuestionarios aplicados
G.A. Madero	12	Naucalpan	30
Iztapalapa	10	Ecatepec	8
Benito Juárez	5	Tultitlan	4
Álvaro Obregón	4	Teoloyucan	4
Cuauhtémoc	4	Tlalnepantla	3
Coyoacán	4	Ocoyoacac	3
V. Carranza	4	Cuautitlán Izcalli	3
Tlalpan	3	Nezahualcóyotl	2
Iztacalco	2	Acolman	2
		Ixtapaluca	2
		Tecamachalco	3

3.1 Medicamentos con mayor demanda

En la Figura 1 se presentan los siete grupos de medicamentos utilizados con mayor frecuencia en los establecimientos veterinarios de la Zona Metropolitana del Valle de México, destacando el empleo de antibióticos, desparasitantes y analgésicos los medicamentos más empleados en las veterinarias. Podría inferirse que al ser estos los más utilizados, sean también los que menos caducan y por ende sus sobrantes sean mínimos; sin embargo, no puede asegurarse.

Los antibióticos son medicamentos de uso controlado y como contaminantes ambientales son biológicamente activos. Su manejo y disposición final inadecuados pueden generar un impacto ambiental negativo, ya que son agentes generalmente muy solubles y a menudo tienen una baja biodegradabilidad, lo que les confiere un potencial de bioacumulación y persistencia en el ambiente. Los medicamentos de este tipo, al ser liberados en el medio ambiente, pueden ejercer efectos nocivos sobre ecosistemas terrestres y acuáticos, por lo que su presencia en el ambiente genera una gran preocupación por sus efectos ecotoxicológicos y a la salud humana. La exposición ambiental indirecta de antibióticos y productos medicinales que tienen propiedades antibacterianas, antivirales o desinfectantes puede crear la resistencia

antimicrobiana o antiviral en la flora humana visceral que conduce a una menor eficacia de antibióticos o productos antivirales medicinales en el futuro [7]. Diversos efectos se han observado además en otras especies animales, por ejemplo en el subcontinente indio se produjo un descenso de la población de buitres atribuido al envenenamiento por diclofenaco, un analgésico detectado en los cadáveres de los que se alimentaban estas aves [8].

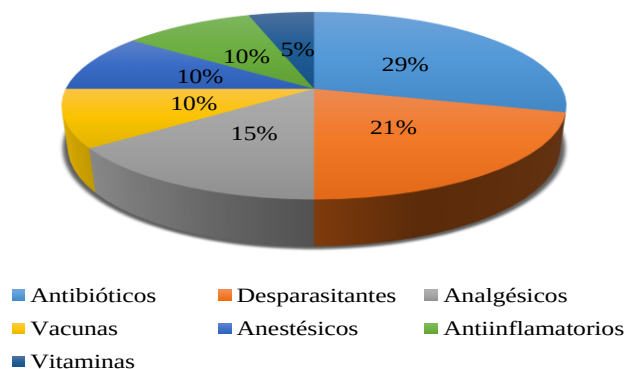


Figura 1. Grupos de medicamentos veterinarios más empleados

3.2 Conocimiento sobre la posibilidad de generar residuos peligrosos.

Solo 2.67% de los encargados de los establecimientos encuestados afirmó estar consciente de la posibilidad de generar residuos peligrosos. La Ley Universal de Residuos del 2008, por parte de la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) [9] menciona que los desechos farmacéuticos peligrosos incluyen medicamentos caducos, medicamentos personales, medicamentos residuales y medicamentos destinados a ser desechados. Mientras que en el Artículo 31 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) [10] se enlistan los “residuos peligrosos y los productos usados, caducos, retirados del comercio o que se desechen y que estén clasificados como tales en la norma oficial mexicana correspondiente”, cuyo inciso VIII se refiere a los fármacos.

3.3 Medicamentos caducados en establecimientos

De los establecimientos encuestados, un 82.35% declaró que se les ha caducado por lo menos un medicamento, mientras el 17.65% aseguraron que no tienen medicamentos caducos, argumentando que, con base en el conocimiento de la demanda de los medicamentos en su establecimiento, ellos compran a la industria abastecedora una menor cantidad de aquellos medicamentos con menor demanda.

3.4 Empresas abastecedoras

Al plantear la pregunta relacionada con las empresas abastecedoras de medicamentos veterinarios, los encuestados (médicos veterinarios) nombraron 10 empresas dedicadas a la distribución de medicamentos veterinarios en la Ciudad de México y municipios aledaños. Dichas empresas se enlistan en la Tabla 2

3.5 Manejo de los medicamentos caducos en los establecimientos veterinarios

En la Figura 2 se muestra que, para el retiro, tratamiento y disposición de sus medicamentos caducos y sobrantes de medicamentos, un poco más de seis de cada diez establecimientos encuestados contratan los servicios de una empresa especializada en el manejo, como Biogreen, Laclivet, entre otras, o bien acuden a depositarlos en contenedores especiales localizados en farmacias y que pertenecen a la empresa SINGREM. Este dato es alentador pues se tiene casi la certeza de que el manejo de este tipo de residuos se hace de la manera adecuada.

Tabla 2. Empresas abastecedoras de medicamentos veterinarios de mayor demanda en la Ciudad de México y municipios aledaños.

Empresa	Número de menciones
Bayer	23
Huvica	14
Virbac	11
Medivet	10
Fynsa	8
Medalvet	8
Ramasa	7
Pfizer	7
Pisa	6
Norvet	6

Por otro lado, no debe perderse de vista que una parte importante (23%) de los establecimientos veterinarios encuestados optan por dos de las formas inadecuadas más habituales y tradicionalmente conocidas de disposición de sus residuos farmacéuticos: el vertido en el drenaje y la disposición en la basura común. Cuando el destino de los medicamentos es el drenaje o basura común, el problema se magnifica, ya que a través del sistema de alcantarillado, antibiótico, antineoplásico y desinfectante no biodegradables llegan a las fuentes de aguas residuales, pudiendo acabar con bacterias necesarias para el tratamiento de las aguas residuales [11].

La eliminación de los medicamentos junto con los desechos domésticos, puede derivar en su eventual incorporación al suelo, lugar donde los medicamentos caducos pueden movilizarse desde la superficie hacia los mantos acuíferos por escorrentía, lo que puede afectar la calidad de las aguas o bien quedar retenidos en el suelo y acumularse, con lo que se afectaría negativamente al ecosistema y a los humanos a través de las cadenas tróficas. Esta problemática incrementa al considerar que, a nivel nacional, las formas más comunes de disponer los residuos es a través de tiraderos a cielo abierto, o sitios controlados carentes de la infraestructura necesaria para la minimización del impacto ambiental, o bien a través del sistema de alcantarillado, donde los medicamentos o metabolitos de los medicamentos son mineralizados por microorganismos a dióxido de carbono y agua, como en el caso de la aspirina [12]. Así, los medicamentos que son móviles en el suelo pueden ser una amenaza para el agua subterránea o lixiviar a un arroyo cercano. La mayoría de los medicamentos no utilizados terminan en los sedimentos donde son degradados [13] o lentamente lixiviados de nuevo en el agua circundante [14].

Aunque las normas de la legislación ambiental mexicana clasifican adecuadamente a los residuos farmacéuticos y los medicamentos caducos como residuos peligrosos, no son claras en cuanto al manejo, tratamiento y disposición final de preparaciones farmacéuticas de tipo veterinario. Esta falta de claridad propicia que una proporción de encargados de establecimientos veterinarios opte por acumular los medicamentos caducos y sobrantes al no conocer la forma más adecuada de desecharlos. Además, un bajo porcentaje (3%) de los establecimientos declaró seguir aplicando los medicamentos vencidos y el restante 9% se negó a responder.

Ya que en México se cuenta con un sistema diseñado por el Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases de Medicamentos A.C. (SINGREM), para la gestión de los residuos de medicamentos de uso humano, dicho sistema también podría hacerse cargo de los residuos de los medicamentos caducos sobrantes y envases de medicamentos de uso veterinario, siempre y cuando se encuentren adheridos al Sistema SIGREM (disponen del logotipo SIGRE en el envase que así lo acredita). Bajo este supuesto, pueden y deben, ser depositados en el Punto SIGREM de la farmacia.

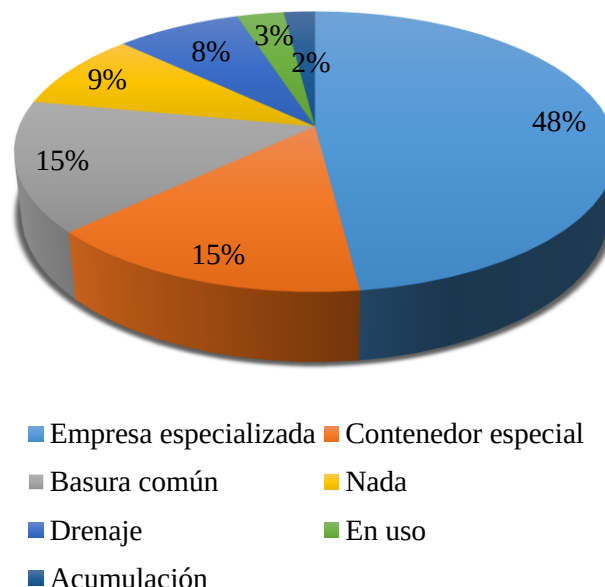


Figura 2. Destino que tienen los medicamentos veterinarios caducos generados en los establecimientos encuestados.

3.6 Empresas dedicadas al retiro de medicamentos veterinarios caducos

Con los nombres de las empresas especializadas que el 48% de los establecimientos aseguraron contratar para el manejo de sus residuos de medicamentos, se hizo una búsqueda a través de internet y solamente del 13.69% de las empresas fueron encontrados sus datos, sus direcciones y sitios en internet y fue corroborado su giro (Tabla 3) y aseguraron tener los permisos para la recolección y tratamiento de medicamentos caducos. Del 24.74% no se encontró información y el 46.35% de los establecimientos referidos fueron localizados y afirman tener contacto a su vez con una empresa especializada pero no conocen o no mencionan el nombre de la misma y por último un 15.22% no respondió la pregunta.

Tabla 3. Empresas dedicadas al retiro de medicamentos veterinarios caducos mencionadas

Empresas cuya existencia fue verificada		
Facultad de Estudios Superiores (FES)-Cuautitlán	UNAM Departamento de Patología Clínica	Corporativo ambiental S.A de C.V.
Biogreen	Bayer de México	Medivet
Laclivet	Pets memorial	Ecoshey
SPESA		

3.7 Conocimiento del impacto ambiental

Cabe destacar que muchos de los medicamentos administrados por vía oral son absorbidos lentamente y se excretan con las heces [15], por lo que el 70-80 % de estos compuestos termina en el medio ambiente [16] causando importantes riesgos a la salud y a los ecosistemas involucrados. Por tal motivo, es importante llevar a cabo acciones que contribuyan a la concienciación de la población acerca del tema del manejo adecuado de residuos peligrosos derivados de medicamentos. El 88% de la población encuestada afirmó estar consciente del impacto a la salud y al ambiente (suelo y cuerpos de agua) derivado del mal manejo los medicamentos veterinarios caducos, mientras que un 12% manifestó su desconocimiento sobre el tema.

3.8 Conocimiento en materia de normatividad

De los establecimientos encuestados, el 43.33% desconoce la normatividad en materia de manejo, tratamiento y/o disposición de los medicamentos veterinarios caducos, el 27.78% dijeron conocer la normatividad correspondiente pero no la mencionaron, el 20.54% afirmó conocer algunas normas y leyes relacionadas y las mencionaron y un 7.25 no respondió a la pregunta. Los organismos, normas y leyes en materia de residuos, mencionadas por los encargados de los establecimientos veterinarios encuestados se enlistan enseguida:

- SAGARPA
- SENASICA
- NOM-050-SEMARNAT-1993*
- NOM-021-SAGARPA*
- NOM-187-SAGARPA*
- NOM-052-SEMARNAT-2005
- NOM-052-ECOL-SSA1-1993
- NOM-087-ECOL-SSA1-2002
- NOM-072-SSA1-2012
- NOM-022-ZOO-1995
- Ley General de Salud Animal
- Ley Federal de Salud Animal
- Norma de Regulación Sanitaria Ecatepec
- Jurisdicción sanitaria
- Normas ambientales
- Ley de sanidad animal

En el listado anterior, se marcan con un asterisco las normas mencionadas que fueron mal citadas o que no se relacionan con el manejo, tratamiento y/o disposición de los medicamentos veterinarios caducos. El resto de los organismos, leyes y normas mencionados, sí se relacionan con el tema abordado, aunque las citas sean vagas o muy generales.

La falta de información sobre la forma correcta de disposición de los medicamentos caducos (de uso humano y veterinario) puede derivar en el comercio de estas sustancias en el mercado negro, pues de llegar estos residuos a tiraderos o rellenos sanitarios, pueden ser recuperados mediante la pepena y vendidos en lugares como la Central de Abastos de la Ciudad de México, en donde se expenden sin necesidad de una receta médica. Por otra parte, existe la modalidad de venta en línea (mercado libre) de medicamentos veterinarios, sin exigencia de una receta médica incluso tratándose de antibióticos, contraviniendo así a lo especificado en el Artículo 226 de la Ley General de Salud [17] que señala: “No podrán venderse medicamentos u otros insumos para la salud en puestos semifijos, módulos móviles o ambulantes”.

4. Conclusiones

La generación de residuos peligrosos del área farmacéutica, es un problema que ha tomado relevancia y despertado la preocupación de la comunidad científica en el mundo, por los problemas ambientales y a la salud que pueden derivarse de su mal manejo. Sin embargo, los medicamentos veterinarios caducos y sobrantes de medicamentos, prácticamente no se recolectan para su tratamiento o disposición adecuada. Los médicos veterinarios y responsables de los establecimientos veterinarios encuestados en general están conscientes de que sus establecimientos pueden ser fuentes generadoras de residuos peligrosos que pueden derivar en daños a la salud humana o al ambiente impactando negativamente al suelo, vegetación, agua y fauna, pero casi uno de cada dos, desconocen la existencia de normas que regulen el manejo de los medicamentos veterinarios caducos.

Aunque la mayoría está de acuerdo que los medicamentos caducos deben tener una disposición final adecuada, solo uno de cada dos contrata los servicios de una empresa especializada en el manejo, tratamiento y disposición de este tipo de residuos. Además, pese a ese conocimiento, en uno de cada cuatro establecimientos veterinarios los residuos de medicamentos siguen siendo desechados por el drenaje o junto con sus residuos comunes, por lo que su destino final es el relleno sanitario.

La opción con mayor aceptación por los encuestados, es la recolecta de los residuos farmacéuticos (medicamentos caducos, sobrantes y envases de medicamentos) de uso veterinario, por empresas autorizadas para su destrucción y/o disposición final adecuada; sin embargo, no existe un interés por corroborar si las mismas operan de manera legal, dan una disposición final adecuada a estos residuos o inclusive conocer cuáles son estas formas de disposición. Además, existe un vacío en la responsabilidad de supervisión y cumplimiento de la normativa originando un desorden en todos los procedimientos que comprenden la eliminación de fármacos caducos, pues la eliminación de estos a través de los residuos municipales o el drenaje siguen persistiendo como formas de eliminación.

5. Referencias

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México), INEGI. (2009) http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/368/2/130820_DS_Farmaceutica_ESP.pdf
- [2] Cámara Nacional de la Industria Farmacéutica (CANIFARMA). (2012). http://www.canifarma.org.mx/afiliados_usoveterinario.html
- [3] Roy Campos, Tracking Poll. (2014). México: las mascotas en nuestros hogares. CONSULTA MITOFSKY. Disponible en: <http://consulta.mx/index.php/estudios-e-investigaciones/mexico-opina/item/577-mexico-las-mascotas-en-nuestros-hogares>
- [4] Sook, L.K.H. (2014). El mercado creciente de las mascotas en México: beneficios y oportunidad de negocios. INCEPTUM. Revista de Investigación en Ciencias de la Administración: IX (17), 7-27.
- [5] SEMARNAT (2005). Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación. 23 de junio de 2006.
- [6] SSA (2005). Norma Oficial Mexicana NOM-073-SSA1-2005. Estabilidad de Medicamentos. (Modifica a la NOM-073-SSA1-1993, Estabilidad de medicamentos, publicada el 3 de agosto de 1996). México, D.F.
- [7] Reinthaler F.F., Posch J, Feierl G, Wüst G, Haas D, Ruckebauer G, Mascher F, Marth E. (2003). Antibiotic resistance of E. coli in sewage and sludge. Water Research, 37: 1685–1690.
- [8] Risebrough R. (2004). Fatal medicine for vultures. Nature, 427: 596-598
- [9] EPA. (2008). Ley Universal de Residuos (Universal Waste Rule). Federal Register publication Dec 2, 2008
- [10] LGPGIR (2003). “Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos”. Cámara de Diputados. Última reforma publicada DOF 22-05-2015. Publicación Oficial, texto completo de libre acceso. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf Última consulta 19 de julio de 2016.
- [11] Correia, A. (2015). Evaluación de las Rutas de Entrada de Compuestos Farmacéuticos de Uso, Centro de Investigaciones Ambientales, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.
- [12] Richardson, M.L. y Browron, J.M. (1985). The fate of pharmaceutical chemicals in the aquatic environment. J. Pharm. Pharmacol. 37: 1-12.
- [13] Lai, H.T. Chien, Y.H, Lin, J.S. (2008). Long-term transformation of oxolinic acid in water from an eel pond. Aquaculture 275: 96–101.
- [14] Smith, P. Hiney, Samuelsen. M. (1994). Bacterial resistance to antimicrobial agents used in fish farming; A critical evaluation on method and meaning. Annual Review of Fish diseases, 4: 273-313.
- [15] Migliore, L. (1997). Toxicity of several important agricultural antibiotics to Artemia. Water Res. 31, 1801-1806
- [16] Hektoen, H. (1995). Resistance of antibacterial agents in marine sediments. Aquaculture 133: 175-184.
- [17] Ley General de Salud. (2010). Título décimo segundo “Control Sanitario de Productos y Servicios de su Importación y Exportación”, Capítulo IV “Medicamentos”, Artículo

SECCION 3

TRATAMIENTO / VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

Aprovechamiento de los residuos maderables de la actividad forestal, estudio de caso: Maderas de la Zona Maya de Quintana Roo S.A. DE C.V.

Couoh Gómez Karen Azucena¹, Flores Castillo Laura Patricia², Gliserio Romeli Barbosa Pool³, Jose Luis Guevara Franco⁴, Inocente Bojórquez Baez⁵
Universidad de Quintana Roo, boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort. Col del Bosque Chetumal
Quintana Roo CP 77019, Tel (983)8350300, karencitacouoh@gmail.com, paflores@uqroo.edu.mx,
romelix1@gmail.com, profjoseluisguevara@gmail.com, inocentebojorquez@gmail.com

Resumen

La generación de grandes cantidades de desechos maderables procedentes de la actividad forestal, en este caso aserrín se ha convertido en los últimos años en un problema ambiental debido principalmente a que los aserraderos y las empresas dedicadas a este rubro no cuentan con un adecuado programa para su aprovechamiento. En relación a esta problemática, este trabajo está enfocado en el aprovechamiento de los residuos maderables generados por la empresa MADERAS DE LA ZONA MAYA DE QUINTANA ROO S.A. DE C.V. quien presenta el caso de estudio. El objetivo principal es alcanzar el máximo aprovechamiento de los residuos generados a través de su utilización como carbón activado a partir de los desechos maderables especies de katalox (*swartzia cubensis*), caoba (*swietenia macrophylla*), chechen (*metopium brownei*) y chicozapote (*manilkara zapota*). Las muestras fueron tratadas térmicamente a 480°C para su carbonización, posteriormente fueron caracterizadas mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), mientras que la composición química fue analizada mediante Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS). Como parte de los alcances de esta investigación se realizó el análisis de la relación costo-beneficio para saber si es factible la utilización de los residuos de aserrín para producir carbón activado. Los resultados obtenidos corresponden a la estimación del volumen total de aserrín generado de las especies que la empresa de estudio maneja, la obtención de carbón activado CA, microscopías a diferentes magnificaciones para observar la morfología de cada una de las especies. La cantidad de carbón generado se determinó mediante análisis EDS.

Palabras clave: carbón activado (CA), desecho forestal), Tzalam (*Lysiloma bahamensis*), caoba (*swietenia macrophylla*), chechen (*metopium brownei*) y chicozapote (*manilkara zapota*).

Introducción

Los residuos son todos aquellos que ya cumplieron una función o determinada acción, y son creados por el ser humano. En este caso el desecho maderable proviene de la actividad forestal en el estado de Quintana Roo, específicamente en la Zona Maya, todo esto por las actividades que generan los planes de madejo de madera en los diferentes ejidos, entre las cuales podemos destacar el aserrío de maderas en rollo de diferentes especies como, katalox (*swartzia cubensis*), caoba (*swietenia macrophylla*), cedro (*cedrela odorata*), machiche (*lonchocarpus castilloi*), ciricote (*cordia docecandra*), entre otras. Dejando como resultado un gran volumen de aserrín como principal desecho y el cual no tiene ningún uso para su aprovechamiento, por lo cual es almacenado fuera del mismo aserradero. Por este motivo se propuso proporcionar un enfoque diferente a través de la producción de carbón activado a partir del aserrín de cuatro especies maderables como alternativa posible.

El proceso de tratamiento de residuos consiste en el almacenamiento temporal, carbonización del desecho, activación química del mismo, y caracterización para evaluar la pureza. Dando como resultado un CA para el aprovechamiento de residuo.

Metodología

Se propuso obtener un volumen de aserrín y desechos maderables generados por la empresa para conocer la cantidad de residuos que pueden ser aprovechados posteriormente se realizó la obtención de carbón activado y la caracterización morfológica. También se llevó a cabo un estudio costo-beneficio con la actividad que podría ser factible para el uso de los residuos y con esta información comprobar la factibilidad técnica y económica de la propuesta.

Obtención de volumen de desechos

Para la medición del volumen de aserrín se elaboró la cubicación de la madera en rollo de los meses con más extracción, en este caso de abril a julio. Para la obtención de las muestras de volumen fueron visitadas las bacadillas donde son depositadas las maderas en rollo antes de terminar en el patio del comprador.

Tomando en cuenta las diferentes especies de madera con las que la empresa trabaja y ya que el volumen de pérdida de las trozas varía de acuerdo a un factor ya establecido, en este caso el 14% para la madera preciosa (caoba) y 10% para las maderas duras, (tzalam, chechen, chicozapote).

Dando así un valor exacto del volumen de aserrín que la empresa genera al momento de aserrar su madera para convertirla en trozas para un mejor manejo de estas. El volumen de una troza promedio es de 0.532 m³, considerando únicamente el volumen sin corteza, con dimensiones de 3.5 m de largo y un diámetro de 0.44 m También el número de tablas varía de 20 a 23 tablas por troza de madera de diferentes dimensiones que van de ½ pulgada a 2 pulgadas. Teniendo un volumen promedio de 123 pies/tablares.

Para finalizar, el volumen de aserrín que se obtiene al momento de aserrar la troza puede variar de 19 a 24 kilos dependiendo de las dimensiones de la troza, esto sin tomar en cuenta el volumen de la corteza, y el volumen al momento de convertir la tabla en un mueble, con lo cual el volumen de desperdicios aumentará en porcentaje al inicial

Elaboración de carbón activado

La elaboración de carbón activado se obtuvo con la materia prima proporcionada por la empresa de caso de estudio, facilitando para este estudio aserrín de diferentes especies maderables. Se analizaron cuatro especies principales, Caoba (*Swietenia macrophylla*), Tzalam (*Lysiloma bahamensis*), Chechen (*Metopium brownei*), Chicozapote (*Manilkara zapota*).

Activación química con H₃PO₄

Se realizó una disolución del ácido fosfórico al 37%, tomando en cuenta que la solución inicial está al 85% para que obtener la cantidad exacta que se necesita para la activación del carbón.

$$\text{concentracion} = \frac{37\text{ml}}{x} = \frac{85\text{ml}}{250\text{ml}} = 108.82 \text{ estando al } 85\% \text{ de ácido fosfórico}$$

Se pesó la materia prima, 40 gramos de aserrín por cada especie maderable.

Luego se colocó en una capsula de porcelana, con 40ml de la disolución de ácido fosfórico al 37 % y 50 ml de agua destilada (esto tomando en cuenta que por cada gramo de muestra se utiliza 1ml de la disolución) para terminar de empapar la materia prima y se impregnara en su totalidad con la solución. Esto durante una hora para tener una mejor absorción.

Después se introdujeron las muestras a la mufla por un lapso de dos horas. La primera hora se dejó a una temperatura de 180°C, y la siguiente hora restante se aumentó la temperatura a 480°C, transcurrido el tiempo de tratamiento térmico, se dejó enfriar a temperatura ambiente durante 1 hora, para posteriormente lavarlo

y quitarle los residuos del ácido. Los residuos del ácido fueron puestos en confinamiento ya que por ser poca la cantidad producida no requirió un tratamiento.

Para su lavado se colocó en un vaso de precipitado de 500 ml, colocando la muestra obtenida con 300ml de agua destilada sobre una placa agitadora para llevarlo a 200 rpm durante 20 minutos de cada lavada efectuada, se lavó hasta obtener un pH de 4.0 en el agua residual.

Luego de terminar con el lavado las muestras se filtraron al vacío para quitar el exceso de agua y obtener la muestra la cual se colocó en una capsula de porcelana y se introdujo a la mufla a una temperatura de 110°C por 24 horas para su secado total.

Por último la muestra seca se pesó y guardo en recipientes de sellado hermético y puesto en un desecador para evitar absorción de humedad para su posterior uso.

Caracterización de Carbón Activado.

Para la caracterización de carbón activado se usaran técnicas morfológicas y químicas.

Análisis por microscopio electrónico de barrido (SEM)

Las muestras de CA se analizaron en el microscopio electrónico de barrido, el equipo que se uso fue el TESCAN, modelo VEGA3, las muestras se prepararon sobre cinta conductora de cobre para que los electrones encontrados a alto vacío en el microscopio puedan interactuar de manera correcta con cada muestra.

Ya preparado el portamuestras se abrió la cámara del equipo y se introdujo para dejarla sellada herméticamente, después se coloca debajo del lente del microscopio y mediante un software, que está conectado directamente al microscopio, la imagen de la muestra colocada se puede observar a diferentes magnificaciones, en este caso se obtuvieron cinco diferentes a 100x, 500x, 1000x, 3000x, y 5000x de cada una de las especies de estudio.

Espectroscopia de energía dispersiva (EDS)

El microanálisis por espectroscopia de dispersión de energía de rayos X, utilizo un detector acoplado al microscopio marca BRUKER X-RAY. De este análisis se obtuvo los elementos presentes en cada una de las muestras de CA, se realizaron tres mediciones en diferentes sitios de la muestra para obtener más información a una magnificación de 500x.

Estudio costo-beneficio.

El análisis costo – beneficio, es una evaluación socioeconómica del proyecto a nivel de prefactibilidad, y consistirá en determinar la conveniencia de un programa o proyecto de inversión mediante la valorización en términos monetarios de los costos y beneficios asociados directa e indirectamente, incluyendo externalidades, a la ejecución y operación de dichos proyecto de inversión.

Se elaboraron diferentes tipos de tarjetas con la información para la obtención de costos por separado de cada concepto que necesitamos para el precio unitario y saber la rentabilidad de la misma. En donde tomaremos en cuenta todos los materiales de producción, mano de obra proponiendo brigadas para las mismas, el costo del manejo de las herramientas de trabajo, el transporte del aserrín hasta el lugar de producción del carbón activado, utilidad de la producción, el costo por la utilización de maquinaria para su elaboración y por último la obtención de un precio unitario para el manejo comercial.

Resultados y discusión

Obtención de volumen de desechos

Los datos se obtuvieron de acuerdo al rendimiento volumétrico, y el desperdicio tomando en cuenta entre el 10% y 14% dependiendo de la especie de madera. En el caso de la caoba se estableció el 14% y para las demás especies maderables el 10% esto de acuerdo con un estándar que manejan los aserraderos visitados.

Tabla 1.-Volumen de desperdicio de la especie maderable preciosa. (Caoba).Fuente: obtenida de la investigación.

Total de volumen cubicado (M ³)	
Total de volumen de caoba	367.165169
Total de volumen desperdicio (14%)	51.4031237
Total aprovechado	315.762045

El volumen de la madera de caoba, se toma por separado de las demás especie ya que esta es la especie con mayor valor monetaria y es considerada como base para el corte de las demás especies maderables, ya que de cada m3 de caoba se corta 2m3 de otras especies y tiene un valor del 14% de corteza como desperdicio inmediato. La tabla 1 nos indica que la cantidad de desperdicio inmediato es de 51.40 m3 de caoba.

Tabla 2.-volumen de desperdicio de las especies maderables duras. Fuente: obtenida de la investigación.

Total de volumen cubicado (M3)	
Total de volumen de Ciricote	22.9746072
Total de volumen de Chechen	8.40745567
Total de volumen de Machiche	12.4380813
Total de volumen de Granadillo	12.7861253
Total de volumen de Tzalam	16.4791921
Total de volumen de Katalox	9.35210338
otal de volumen de Chicozapote	63.972506
Total de volumen de Chacteviga	14.2916646
Total de volumen de Jabin	40.4091049
Total	201.11084
Total de volumen desperdicio (10%)	20.111084
Total aprovechado	180.999756

El volumen de las otras especies maderables se maneja por separado tomando como referencia el volumen de desperdicio que es del 10% inmediato de corteza. Teniendo así un volumen de 20.11 m3 (tabla 2) por las demás especies maderables, teniendo en conjunto un total de 70.51 m3 (tabla 3).

Teniendo en cuenta el volumen de desperdicio de las especies de maderas, se consideró como un volumen inicial de residuos maderables el total del porcentaje de desperdicio producido en la cubicación de los meses especificados anteriormente

Tabla 3.- volumen de desperdicio total de todas las especies maderables. Fuente: obtenida de la investigación.

Total final de volumen desperdiciado (M3)	
Total 1	51.4031237
Total 2	20.11084
Total Final	71.5139637

De acuerdo a las tablas 1, 2 y 3, se puede decir que el volumen dentro de meses de estudio son una cantidad considerable si se tiene referencia que la empresa maneja grandes volúmenes de madera en rollo por año teniendo una cantidad de desechos maderables sin ningún tipo de aprovechamiento y por lo tanto perjudicando el medio ambiente que lo rodea.

Obtención de Carbón Activado.

La elaboración de CA es la propuesta para un aprovechamiento total de los residuos maderables generados por la empresa de estudio, y aunque en esta investigación se utilizó el método químico, la mejor opción será una activación térmica, proponiendo el método de pirólisis para la producción nivel industrial y no generar desechos peligrosos por el agente activante,

Como se mencionó anteriormente de cada muestra se tomaron 40 g materia de prima de cada especie maderable, en este caso caoba, tzalam, chechen y chicozapote. Después de las fases anteriores. Se realizó un último pesado obteniendo siguientes cantidades de CA de cada especie maderable.

En la tabla 4 se observa que la muestra original disminuyo entre un 65 a 70%, por lo cual la cantidad de muestra de CA es menor, se debe a la pérdida de peso de agua y otras sustancias presentes en las muestras originales.

Tabla 4.- Datos de cantidades de muestra antes y después de la activación química.

ESPECIES MADERABLES DE LA ZONA MAYA DE QUINTANA ROO				
Nombre común	Nombre científico	Origen	Cantidad de muestra (gr)	Cantidad obtenida (gr)
Caoba	Swietenia macrophylla	Ejido Petcacap	40	12.9
Tzalam	Lysiloma bahamensis	Ejido Petcacap	40	14.88
Chechen	Metopium brownei	Ejido Tres Garantías	40	13.1
Chicozapote	Manilkara zapota	Ejido Botes	40	12.26

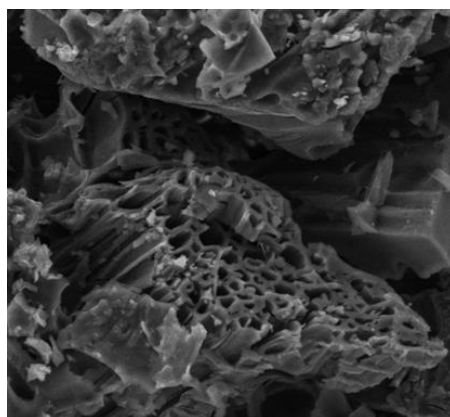


Imagen 1.- Imagen SEM de especie Chechen Fuente: obtenida de la investigación.

Análisis microscopio electrónico de barrido (SEM)

Se analizaron varias especies a fin de encontrar las diferencias morfológicas a nivel microscópico para determinar la calidad de CA de cada especie forestal siendo de suma importancia ya que se puede apreciar la porosidad y arreglo de las estructuras así como la cristalización por cada especie estudiada, determinando que la especie de Chechen es la especie con mayor cantidad de poros bien definidos y por lo tanto con gran capacidad de absorción. Y la de menor calidad de acuerdo a la estructura es la caoba con una estructura poco definida y mayor cristalización.

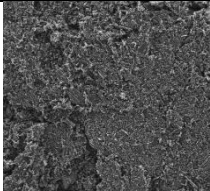
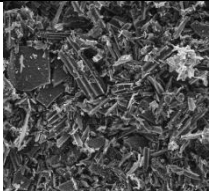
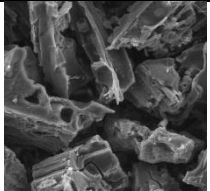
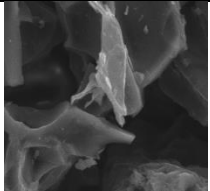
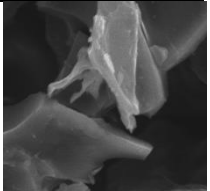
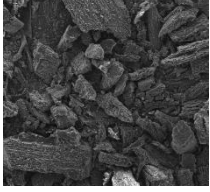
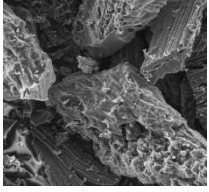
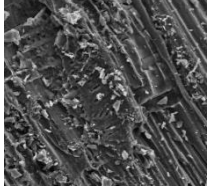
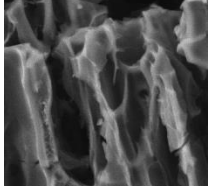
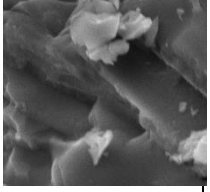
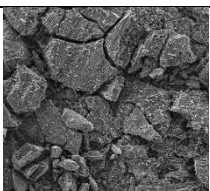
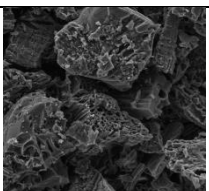
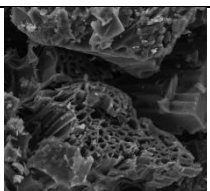
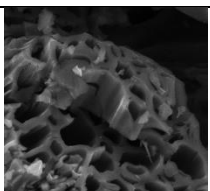
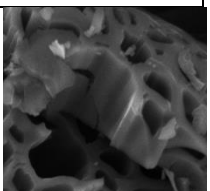
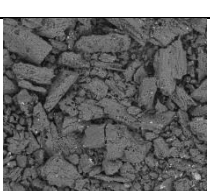
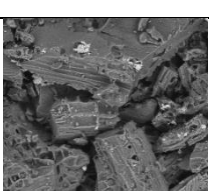
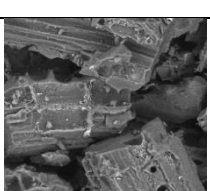
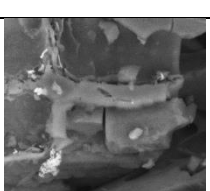
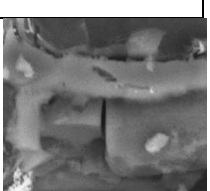
En la especie de Caoba (*Swietenia macrophylla*), se puede observar de manera general que tiene formaciones cristalinas en formas tubulares en mitades y en otras partes solo placas completamente planas.

En la especie de Tzalam (*Lysiloma bahamensis*) se puede apreciar formas tubulares bien definidas y en algunos espacios se tienen poros en pequeñas cantidades

En la especie chechen (*Metopium brownie*) se puede contemplar las formas tubulares y poros más definidos en todas las áreas y mientras se amplifica más definido se puede observar la porosidad de esta.

En la especie de chicozapote (*Manilkara zapota*) se puede apreciar las formas tubulares definidas en mitades y casi nulos poros en las áreas de amplificación.

Tabla 5.- imágenes obtenidas con el microscopio electrónico de barrido (SEM). Fuente: obtenida de la investigación

M	100X	500X	1000X	3000X	5000X
caoba					
katalox					
chechen					
chicoza pote					

Espectroscopia de energía dispersiva.

En este análisis se obtuvo el peso y los elementos de cada muestra de CA elaborado con las especies maderables de estudio dándonos elementos como carbono (C), como principal pico de elevación en las especies estudiadas en cantidades por encima de 57 puntos de concentración normal. El boro (B), oxígeno (O) como elementos siguientes encontrados en las muestras. Se encontraron cantidades elevadas.

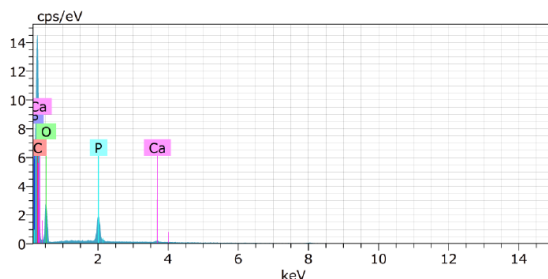


Figura 2.- grafica de análisis de difracción de rayos. Fuente: obtenida de la investigación das de boro, sin determinar el origen de procedencia

Datos de la especie caoba, en la gráfica se pueden observar los picos de elevación de los elementos y la tabla con las cantidades que posee de estos. Teniendo al carbono con 59.1 de concentración como punto más alto.

Tabla 6.- cantidad de peso por elementos. Fuente: obtenida de la investigación.

Porcentaje en peso Caoba				
	Zona 01	Zona 02	Zona 03	Promedio
B	33.87	33.67	33.55	33.7
C	58.85	58.93	59.49	59.1
O	6.51	6.55	6.25	6.4
F	0.09	0.14	0	0.1
Si	0	0.04	0.02	0.0
P	0.61	0.62	0.62	0.6
Ca	0.07	0.06	0.06	0.1

Datos en la especie tzalam se puede apreciar en la gráfica los picos de elevación de los elementos presentes en la muestra, y en la tabla la cantidad de concentración de cada elemento, teniendo al carbono con 56.9 en primer sitio.

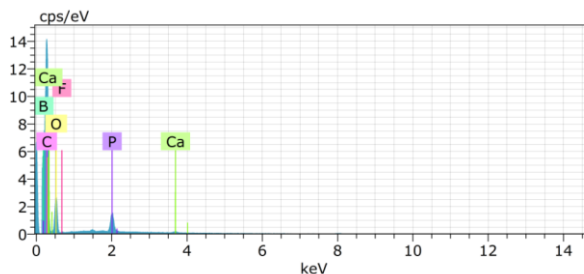


Figura 3.- grafica de análisis de difracción de rayos. Fuente: obtenida de la investigación.

Tabla 7.- cantidad de peso por elementos. Fuente: obtenida de la investigación

Porciento en peso Tzalam				
	Zona 01	Zona 02	Zona 03	Promedio
B	33.65	33.92	33.88	33.8
C	58.52	55.23	56.92	56.9
O	6.91	8.77	7.57	7.8
P	0.83	1.86	1.5	1.4
Ca	0.09	0.21	0.12	0.1

En la especie chechen se puede ver en la gráfica los picos de elevación de los elementos presentes en la muestra y en la tabla la cantidad de concentración de elementos teniendo el carbono con 59.5 en primer sitio

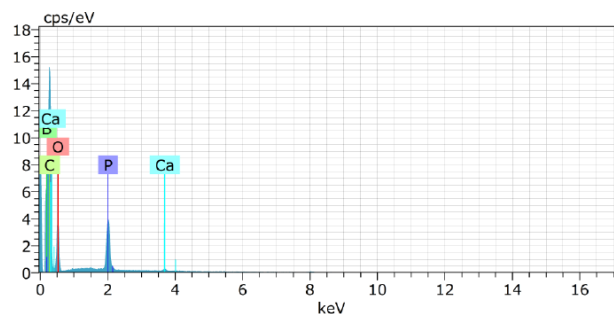


Figura 4.- Grafica de análisis de difracción de rayos. Fuente: obtenida de la investigación.

Tabla 8.- Cantidad de peso por elementos. Fuente: obtenida de la investigación

Porciento en peso Chechen				
	Zona 01	Zona 02	Zona 03	Promedio
B	33.51	33.69	33.46	33.6
C	58.98	58.86	60.79	59.5
O	6.65	6.26	5.1	6.0
Mg	0	0.02	0	0.0
P	0.78	1.07	0.59	0.8
Ca	0.08	0.1	0.06	0.1

En la especie chicozapote se puede observar en la gráfica los picos de elevación de los elementos presentes en la muestra y en la tabla la cantidad de concentración de elementos teniendo el carbono con 57.8 en primer sitio

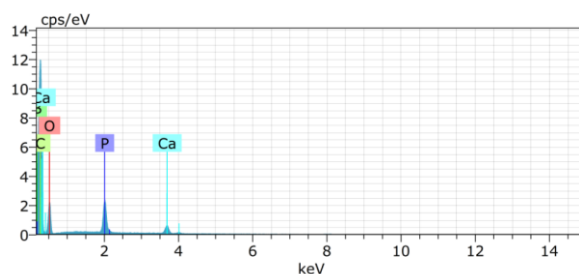


Imagen 5.- grafica de análisis de difracción de rayos. Fuente: obtenida de la investigación

Tabla 8.- cantidad de peso por elementos. Fuente: obtenida de la investigación.

Por ciento en peso Chicozapote				
	Zona 01	Zona 02	Zona 03	Promedio
B	33.6	34.03	33.78	33.8
C	57.6	58.05	57.72	57.8
O	7.74	6.24	7.25	7.1
Si	0.03	0	0	0.0
P	0.84	1.14	0.92	1.0
Ca	0.19	0.54	0.32	0.4

Análisis estudio costo-beneficio

En este análisis se obtuvo como principal información el precio unitario que se daría en mercado, el margen de utilidades, costos directos e indirectos, todos estos datos que se generaron de acuerdo a los a las leyes federales de trabajo, de hacienda, del IMSS, estadísticas de tiempo entre otras. También generando la creación de una empresa de CA para tener noción de los gastos empresariales.

Tabla 9. Los gastos empresariales

PRECIO UNITARIO				
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PERCIO UNITARIO	IMPORTE
MATERIALES				
Aserrín	kg	3.30	\$5.00	\$16.5
			SUMAS	\$16.5
MANO DE OBRA				
brigada 3	Jor	8.40336E-05	\$733.69	\$ 0.06
			SUMAS	\$ 0.06
HERRAMIENTAS				
Herramienta menor	%	3.00%	\$ 0.06	\$ 0.002
			SUMAS	\$ 0.00
EQUIPO				
Camioneta 3 ton	Hr	0.008	\$918.1	\$ 7.35
Trascabo	Hr	0.008	\$ 478.94	\$ 3.83
Trituradora	Hr	0.008	\$330.2	\$ 2.64
Carbonizador	Hr	0.008	\$394.7	\$ 3.16
Banda transportadora	Hr	0.008	\$52.24	\$ 0.42
Horno giratorio	Hr	0.008	\$492.9	\$ 3.94
			SUMAS	\$ 28.68
	COSTO DIRECTO			\$ 45.25
	INDIRECTOS			15.00%
	COSTO TOTAL			\$ 52.04
	UTILIDAD			15.00%
	PRECIO UNITARIO			\$ 59.84

Con base al análisis de costos es factible la implementación de la producción de CA a partir de residuos maderables siendo una innovación dentro de las actividades que realizan la producción maderera aunado a que en el estado no hay ningún proyecto de este estilo.

Conclusiones

Se demostró que el aprovechamiento de los desechos maderables es una opción para contribuir con el medio ambiente ya que se puede reintegrar como un producto de uso comercial y que tiene gran gama de usos, con esta alternativa ya que se ha hecho varios estudios para elaboración de CA a partir de diferentes precursores como cascara de coco el cual es el principal precursor utilizado a nivel industrial por su pureza por encima del 95%, así como maderas duras, frutos secos de pino [1], residuos agro-industriales [2] entre otros.

Al realizar los análisis de los diferentes carbones activados provenientes de los residuos maderables y comparar las características morfológicas y elementales de las muestras de CA, se aprecia en especial la de especie de Chechen la porosidad uniforme, el arreglo, el tamaño de poro con características estructurales similares a las que presenta el CA proveniente del coco, que indican que tiene poros para la absorción de manera adecuada.

Referencias

- BRUNAUER, S., & . (1945). "The Adsorption of Gases and Vapours". PRINCENTON: Princenton Univ. Press.
- BRUNAUER, S., & EMMETT, P. y. (1938). AM CHEN SOC.
- D. Cuhadaroglu, O. A. (2008). O. A. Uygun 7. Afr J Biotechnol.
- Egas, A. (1998). consideraciones para elevar los rendimeintos en aserraderos con sierras de banda. . En A. Egas. cuba: univeridad de pinar del rio.
- Fernadez, M. (2008). Conversion de un residuo forestal en carbon activado y su utilizacion para. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 69-75.
- ISIRIKYAN, A. y. (1962). Phys. Chem., 66, 210.
- Joan Carles Melgarejo, J. A. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. En S. G. A.C., BOLETIN DE LA SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA A.C. (págs. 1-23). BARCELONA.
- Kehl., D. M. (1793). "Observations et Journal sur la Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle et des Arts". Paris.
- Kirk, R. E. (1961). "Enciclopedia de Tecnologia Quimica". Barcelona: UTEHA.
- Oscanoa, A. M. (2011). elaguapotable.net. Recuperado el 22 de noviembre de 2012, de <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>
- Ostrejko, R. v. (1901). German patent 136.
- R. C. Bansal, J. B. (1998). "Active Carbon". new york: Marcel Dekker, Inc.
- Reinoso., F. R. (2002). "Handbook of Porous Solids". Wilely-VCH Publisher, 3.
- SUTHERLAND, J. (1967). "Porous Carbon Solids", p. 1. Londres: Academic Press.

Aplicación de lodos residuales de origen municipal en suelos erosionados del valle de Toluca

¹Isaías de la Rosa Gómez, ¹Beatriz Juárez Robles, ¹M. Consuelo Hernández Berriel, ¹M. Consuelo Mañón Salas.

¹ Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, México. CP. 52149. kivodelarosa@yahoo.com

Resumen

Actualmente la erosión y contaminación del suelo son algunos de los problemas ambientales a resolver a nivel nacional e internacional. En México el 45 % de superficie presenta degradación del suelo (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016) y se generan cerca de 640 millones de toneladas/año base seca de lodos residuales derivados del tratamiento de agua residual municipal. Por lo que se tiene una oportunidad de aprovechar los lodos residuales como enmienda orgánica en suelos erosionados. El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos de la aplicación de lodos residuales de origen municipal y composta preparada con estos lodos, en suelos erosionados del valle de Toluca realizando actividades de forestación e implantación de zacatón, evaluando el porcentaje de supervivencia y remediación durante tres años consecutivos y el desarrollo de maderables (2012-2015).

Palabras Clave: *erosión, suelo, composta, biosólido, forestal*

1. Introducción

Del tratamiento de las aguas residuales de origen municipal, resultan lodos residuales y agua residual tratada. La carga orgánica del agua residual una vez que es tratada mediante un proceso que involucre el uso de microorganismos, produce lodos residuales. La fuente principal de lodos residuales, son las aguas residuales municipales ARM. En México se tratan el 52.7 % de las aguas residuales municipales (Nacional, Técnica, Baja, & Norte, 2014), de las cuales se estima se obtienen 640 millones de toneladas/año base seca (LeBlanc, Matthews, Richard, Commission, & Programme, 2009), sin embargo no se cuenta con datos oficiales concretos.

Si se considera que en México el 45 % de su superficie presenta degradación del suelo (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016), se tiene una oportunidad para utilizar los lodos como abono orgánico natural en tierras poco fértiles para relleno en terrenos degradados. El lodo es una fuente rica en nutrientes, por lo tanto su aplicación en suelos como fertilizante es una opción recomendable.

Los lodos residuales pueden ser utilizados en forma líquida, semisólida o seca en el subsuelo, siendo la aplicación líquida la más preferida. Pueden ser utilizados en tierras agrícolas y forestales, parques, áreas recreativas; así como reclamación de tierras, terreno de minerías y marginal. Cuando se utilizan lodos residuales en actividades agrícolas o forestales, se debe controlar su contenido de compuestos tóxicos, particularmente metales, por su acumulación en plantas debiendo cumplir con la normatividad mexicana (NOM 004-SEMARNAT-2002), (SEMARNAT, 2002).

Dos alternativas poco empleadas en México, pero que en el valle de Toluca se están utilizando, son la composta fabricada a partir de lodo residual y el mismo lodo, ambos procedentes de aguas residuales de origen municipal. El Instituto Tecnológico de Toluca en los proyectos de investigación que tiene en su Programa de Posgrado en Ciencia Ambientales, ha desarrollado un método acelerado para la elaboración de composta a partir de lodo residual; la composta se ha utilizado en la remediación de suelos frágiles erosionados en el nevado de Toluca.

El objetivo de este trabajo fue hacer la aplicación de composta elaborada con lodo residual de origen municipal en suelos erosionados del nevado de Toluca y lograr su remediación; de igual manera utilizar esta composta y el lodo residual en suelos tipo vertisoles para medir el desarrollo de árboles maderables.

2. Metodología/Desarrollo

Las zonas de estudio fueron el nevado de Toluca en el sitio conocido como “el arenal” 19° 7'3.38"N 99°44'14.69"O, el cual no presentaba cubierta arbustiva. En el nevado de Toluca la estructura de terreno está formada por un suelo clasificado por la FAO como *Regosol eutrico* y presenta pendientes hasta de 60%. Con el fin de solucionar el problema de erosión en un terreno de 3 hectáreas aproximadamente, sin cubierta arbustiva, y dado que la eficiencia en la siembra (implante) de zacatón (especie endémica), era baja y raquítica 60%. Con el fin de mejorarla, se utilizaron 100 gramos de composta en cada una de las terrazas para sembrar los 6000 implantes. La composta fue preparada con biosólido obtenido del tratamiento del agua residual del municipio de Toluca.

El parque Sierra Morelos cuenta con una superficie de 1255 hectáreas (19°18'32.65"N 99°41'43.64" O) y un área de preservación de aproximadamente 300 hectáreas, en donde el suelo es de tipo vertisol formando una pradera que se está habilitando como bosque.

Los lodos residuales se obtuvieron de una planta tratadora de aguas residuales PTAR de origen municipal ubicada en la zona noreste del Valle de Toluca (México), se deshidrataron con radiación solar y fueron pelletizados con un molino de martillos marca INGAR®. Para la elaboración de la composta se realizó una mezcla de suelo arcilloso, estiércol equino fermentado y lodos residuales en una proporción de 30:8:62 respectivamente, se compostaron durante 32 días en pilas por la técnica de aireación periódica.

La composta elaborada con biosólido fue utilizada en el nevado de Toluca para abonar el suelo con las terrazas en donde se pusieron los implantes, y en un predio de media hectárea modificado con chinampas en el parque sierra Morelos, adicionando 24 toneladas por hectárea de composta como abono orgánico para la obtención árboles maderables por el método de forestación.

El biosólido fue utilizado en un predio de media hectárea modificado igualmente con chinampas en el parque sierra Morelos, adicionando 24 toneladas por hectárea.

En ambos predios del parque sierra Morelos se adicionó la composta y el biosólido a “plomo”, dispersando el abono con rastra y utilizando agua sólida al momento de la plantación.

Estos trabajos de aplicación, se diseñaron para resolver un problema de erosión en el nevado de Toluca y ambiental en el parque sierra Morelos, por tal razón no se considera diseño experimental alguno ni estadística; valorando si la composta preparada con lodo residual propicia el crecimiento del zacatón y por lo tanto ocurre remediación del suelo y cuál de los dos abonos fue mejor en el desarrollo de árboles maderables, utilizando *Pinus moctezumae*, *Pinus greggii*, *Cupressus lusitánica* y frutales. En ambos predios después de la siembra no se realizó actividad de mantenimiento.

3. Resultados.

Lodo Residual de origen municipal.

En la tabla número 1 se presenta la composición del lodo residual utilizado en la siembra de implantes y de árboles maderables.

Tabla 1. Análisis de tipos de lodos.

COMPUESTO	LODO ACTIVO %
Material volátil	62-74
Cenizas	24-38
Grasas	6-12
Proteína	32-40
Ácido fosfórico como P_2O_5	3-4
Celulosa	7.8
SiO_2	8.5

(Fuente propia)

Labores en el nevado de Toluca

En el año 2012, se inició la siembra de implantes con zacatón, en aproximadamente media hectárea en un lugar conocido como “el arenal” sin colocar composta, los resultados que se obtuvieron fue un 60 % de sobrevivencia con poco zacatón desarrollado y muy pequeño. En el año 2013 se repuso el implante no logrado y se terminó la siembra de poco más de una hectárea en la parte baja del arenal, colocando a cada terraza aproximadamente 100 gramos de composta elaborada con lodo residual. En la figura 1 se observa:



a) La aplicación de la composta.



b) La siembra de zacatón.

Figura 1. Aplicación de composta y siembra de zacatón en el “arenal del nevado de Toluca.

Al terminar el ciclo la eficiencia fue del 98 % considerando un total de 1800 implantes. En el ciclo que inició 2014, fue implantado aproximadamente una hectárea y media en la parte alta del “arenal” sembrando 2000 implantes con su dosis de composta. Para el 2015 la totalidad de la siembra estaba lograda, presentando el terreno una franca regeneración por la presencia de arbustos como musgos, *Lupinus montanus* y otras malezas propias del lugar.

El uso de composta elaborada con biosólido con una relación carbono nitrógeno entre 5 y 6 favoreció que la mayor parte del zacatón implantado .se lograda, debido a la importante cantidad de nitrógeno que contiene la composta

En la figura 2 se presenta:



Figura 2. Terrazas y distribución de zacatón

En la figura 3 se observa la parte baja del “arenal” con los implantes logrados. Actualmente esta zona presenta musgo, lupinos *Lupinus montanus*, renuevos de zacatón, musgo y otras malezas, lo que indica que el terreno se encuentra en condiciones de franca regeneración.



Figura 3. Se observan los implantes como puntos oscuros logrados en la parte baja del arenal desde el 2014

Labores en parque Sierra Morelos

En este sitio se incrementó la cubierta forestal al sembrar dos predios controlados, uno de ROTARAC y otro del Instituto Tecnológico de Toluca ITT, ambos fueron de media hectárea; en predio de ROTARAC se utilizó composta elaborada con lodos residuales y en el predio del ITT se aplicó lodo residual. Los predios se prepararon haciendo chinampas con la tierra homogénea (sin terrones), utilizando tractor. Se sembraron *Pinus greggii*, *Pinus moctezumae*, *Cupressus lusitánica* y árboles frutales con talla de un año de vivero (40

a 50 cm de altura). A dos y medio años de su siembra la talla de los árboles es de 1.5 a 2.2 m de altura, siendo de 1 a 2 veces más altos que los árboles sembrados en condiciones normales.

Por el tratamiento dado a estos predios y el haber utilizado agua sólida, solamente en el primer año se les dio un riego de auxilio, mientras que a los árboles normales se hidratan durante el periodo de estiaje colocando 20 litros de agua a cada árbol, con una frecuencia de cada 3 semanas. En las Figuras 4 y 5 se presentan los árboles del predio de ROTARAC y del ITT respectivamente.



Figura 4. Árboles en predio ROTARAC



Figura 5. Árboles en predio Instituto Tecnológico de Toluca

Entre ambos predios la talla de los árboles del ITT fue mayor, aunque el crecimiento fue grande pero variado, mientras que los árboles de ROTARAC la talla fue menor pero su altura fue uniforme. La eficiencia de sobrevivencia fue mayor del 90 %; algunos árboles del predio del ITT no sobrevivieron por el crecimiento de formas arbustivas que invadieron las cepas de algunos árboles. Al finalizar el 2015, se tienen logrados más de 1,000 árboles de las especies de *Pinus greggii*, *Pinus moctezumae*, *Pinis patula*, y cedro blanco *Cupressus lusitánica*.

4. Conclusiones

La aplicación de composta elaborada con lodo residual en suelos erosionados del nevado de Toluca, hizo que se lograran los implantes de zacatón, ayudando a la remediación de dichos suelos, por el crecimiento arbustos secundarios que dan cohesión al suelo.

El uso de lodo residual y composta de lodo residual, mejoró la sobrevivencia y la talla de árboles en el parque sierra Morelos de la ciudad de Toluca, teniendo más desarrollo (talla) los árboles del predio del ITT.

No existe en la literatura información sobre la aplicación de estos materiales como fertilizante en implantes de zacatón y poca información en la aplicación para árboles maderables.

Agradecimientos

Compañía Operadora de Ecosistemas y al Instituto Tecnológico de Toluca por la donación de lodos residuales y por las facilidades y apoyo para realizar el proyecto de preservación del nevado de Toluca y del parque sierra Morelos respectivamente.

Referencias Bibliográficas

- [1] Instituto Nacional de Ecología. (2016). Degradación de suelos. Retrieved from <http://www.inecc.gob.mx/cuencas-proyectos/958-proy-cuencas-deg-suelos>
- [2] LeBlanc, R. J., Matthews, P., Richard, R. P., Commission, G. M. S., & Programme, U. N. H. S. (2009). *Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge, and Biosolids Management: Moving Forward the Sustainable and Welcome Uses of a Global Resource*. United Nations Human Settlements Programme. Retrieved from <https://books.google.com.mx/books?id=zST2bSEnsIQC>
- [3] Nacional, C., Técnica, S. G., Baja, E. D. E., & Norte, C. (2014). *Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento*. CONAGUA.
- [4] SEMARNAT. 2003. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Diario Oficial de La Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003

Obtención de bioetanol a partir de residuos de madera

¹ Leticia Nuño Licon, María Berenice Quintana Díaz, José Luis Contreras Larios, Miguel Ángel Hernández Galván

¹ Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 180 Colonia Reynosa Tamaulipas, teléfono 53.18.90.00 ext. 2057 y email: lnl@correo.azc.uam.mx

Resumen

El aumento en la demanda de energía y el progresivo calentamiento del planeta aunado a un creciente aumento en el costo de los combustibles fósiles, son las principales causas que han propiciado el uso de energías renovables. Parte de esta energía se destina al sector transporte, el bioetanol es el biocombustible más utilizado en este sector. El objetivo de esta investigación es producir bioetanol a partir de residuos de madera. El bioetanol producido a partir de biomasa lignocelulósica (madera de pino), se obtiene mediante las siguientes etapas: i) reducción de tamaño, 0.2-2 mm por medio de un molino de bolas, ii) pretratamiento (pirólisis) para provocar la solubilización y/o redistribución de la lignina y la disociación del revestimiento que la lignina y la hemicelulosa forman alrededor de la celulosa aumentando la accesibilidad enzimática, así como también asegurar la recuperación de los componentes de la biomasa lignocelulósica: celulosa, hemicelulosa y lignina además de evitar degradación de azúcares, iii) hidrólisis de la celulosa y hemicelulosa con H_2SO_4 1 N manteniendo la temperatura en 97°C durante 25 horas, iv) fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* a 35°C con una concentración 2 a 6 g/l durante un tiempo máximo de 30 horas, v) recuperación de bioetanol. Se obtuvo bioetanol con una significativa cantidad de agua, que se eliminó mediante destilación.

Palabras Clave: *Biomasa, etanol, residuos de madera.*

1. Introducción

El mundo enfrenta el agotamiento progresivo de sus recursos energéticos basados principalmente en combustibles fósiles debido al aumento en la demanda de energía, según International Energy Agency para 2020 equivaldría a 112 millones de barriles diarios de petróleo [1]. Por otro lado, el consumo global de combustibles genera un incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera [2]. Una solución renovable es el uso de energía solar en forma de biomasa, la cual está representada en los materiales lignocelulósicos y en los cultivos de plantas ricas en energía. Las emisiones de CO_2 generadas por la producción y la utilización de biocombustibles son compensadas por la adsorción de CO_2 durante el crecimiento de las plantas y de otros materiales vegetales a partir de los cuales dichos combustibles se producen. Una hectárea de cultivos ricos en energía utilizada para la producción de biocombustibles (bioetanol, biodiesel) puede evitar la emisión de 0.2-2.0 ton de carbono a la atmósfera en comparación con el empleo de combustibles fósiles [3].

El material lignocelulósico es atractivo por su reducido costo y alta disponibilidad en diversos lugares, es el principal y más abundante componente de la biomasa producida por la fotosíntesis [4], comprende aproximadamente 50% de la biomasa existente a nivel mundial y su producción 10 – 50 millones de toneladas [5]. La pared celular está constituida por lignocelulosa (celulosa, hemicelulosa y lignina), variando la composición y el porcentaje de acuerdo a la especie, incluso la edad y etapa de crecimiento [6].

La estructura y composición química de los materiales lignocelulósicos determinan la producción de bioetanol [7]. La biomasa lignocelulósica es una matriz polimérica de estructura compleja donde la celulosa y hemicelulosa están fuertemente ligadas a la lignina, compuesto que restringe la accesibilidad enzimática y microbiana [8]. La proporción de los componentes en la madera de pino utilizada son: 46.4% celulosa, 20.6% hemicelulosa, y 29.4% de lignina [9].

La celulosa es un homopolímero formado por unidades de D-glucosa unidas por enlaces glucosídicos β -1,4, que se estructuran en largas cadenas lineales unidas por puentes de hidrógeno entre grupos hidroxilo intra e intermoleculares y fuerzas de Van der Waals intramoleculares, formando así una estructura cristalina con regiones amorfas susceptibles a la degradación [10], [11]. (Ver Figura 1).

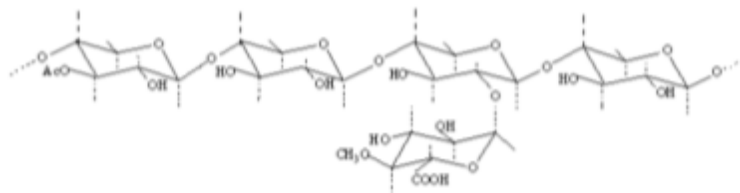


Figura 1. Estructura de la celulosa.

La hemicelulosa es un heteropolímero formado por pentosas (D- xilosa y L-arabinosa), hexosas (D-glucosa, D-manosa y D- galactosa), desoxihexosas (L-ramnosa, L-fucosa) que forman cadenas ramificadas y ácidos urónicos (D-glucurónico, D-galacturónico, 4 o-metilglucurónico), los azúcares están unidos por enlaces β -1,4 y ocasionalmente por enlaces β -1,3 [12]. La cadena principal puede estar conformada por una sola unidad (homopolímero) o por varias unidades (heteropolímero) como el galactoglucomanano en maderas blandas. (Ver figura 2).

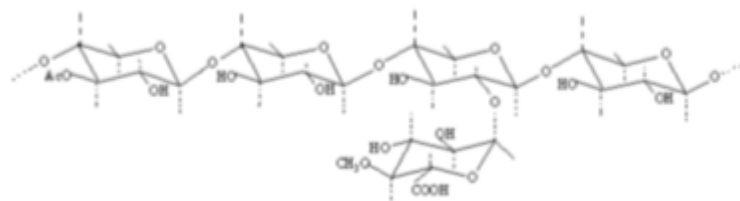


Figura 2. Estructura de la hemicelulosa.

La lignina es un heteropolímero amorfo y ramificado, formado por alcoholes aromáticos llamados alcoholes cinamílicos: p-curamílico (4-hidroxicinamílico), coniferílico (4-hidroxi-3-metoxicinamílico) y sinapílico (4-hidro-3,5-dimetoxicinamílico) que actúan como precursores de la lignina y representan unidades básicas de este polímero: (H) 4-hidroxifenilo, (G) guayacilo y (S) siringilo (Ver Figura 3). Proporciona soporte estructural, rigidez, impermeabilidad y protección a los polisacáridos estructurales (celulosa y hemicelulosa). La solubilidad de la lignina en medios ácidos, neutros o alcalinos depende del precursor dominante.

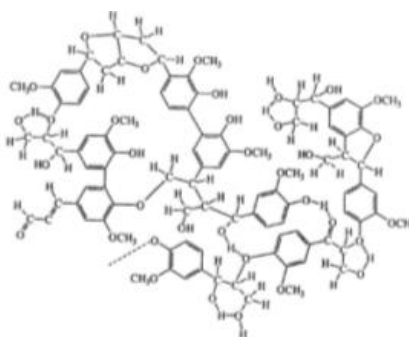


Figura 3. Estructura de la lignina.

2. Metodología/Desarrollo

En este trabajo se utilizó madera de pino como materia prima lignocelulósica para la obtención de bioetanol. El pre-tratamiento tiene como objetivo provocar la solubilización y/o redistribución de la lignina y la disociación del revestimiento que la lignina y la hemicelulosa forman alrededor de la celulosa para aumentar la accesibilidad de las enzimas, asegurar la recuperación de los componentes de la biomasa celulósica. Para remover la lignina, hidrolizar la hemicelulosa a azúcares fermentables y reducir la cristalinidad de la celulosa para liberar la glucosa, evitando la degradación o pérdida de carbohidratos así como la formación de compuestos inhibitorios para la posterior fermentación.

El pre-tratamiento físico, consistió en un pulverizado mecánico del material lignocelulósico por medio de un molino de bolas, para obtener un tamaño de partícula de 0.2-2 mm, con la finalidad de aumentar el área de contacto, propiciando el acceso de las celulasas a las fibras de celulosa y aumentando su conversión. La segunda etapa es un pre-tratamiento termoquímico, con el fin de lograr un ablandamiento de la lignina y las hemicelulosas, que facilite el posterior ataque de las enzimas. Se realiza en un reactor a una temperatura superior a los 300°C para la descomposición fisico-química de la materia orgánica bajo la acción del calor y en ausencia de un medio oxidante para la formación de productos volátiles y carbón. Adicionalmente, la mayor parte de la hemicelulosa se hidroliza durante el pretratamiento y la lignina se libera o puede incluso descomponerse. (Ver figura 4).



Figura 4. Reactor donde se efectuó la pirólisis.

Después el material se somete a hidrólisis ácida suave con H_2SO_4 1 N a una temperatura de 97°C durante un periodo de 2.5 horas, durante esta etapa se hidroliza del 80-100% de la hemicelulosa. La temperatura es favorable para la hidrólisis de la celulosa, lo cual hace que se obtenga una solución de azúcares fermentables que contiene principalmente glucosa, así como pentosas. En este proceso parte de la reacción que se lleva a cabo para obtener la glucosa también produce otros subproductos, que en el proceso de fermentación inhibe la labor de la levadura.

La fermentación de glucosa se llevó a cabo por medio de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, debido a que es más fácil la separación después de la fermentación, además de producir un contenido de toxinas muy inferior a otros microorganismos, manteniendo la temperatura en 35°C y la carga de concentración celular en el rango de 2 a 6 g/l durante un tiempo máximo de 30 horas. La levadura utiliza los azúcares presentes en el material lignocelulósico pre-tratado e hidrolizado para producir bioetanol y CO_2 (Ver Figura 5).

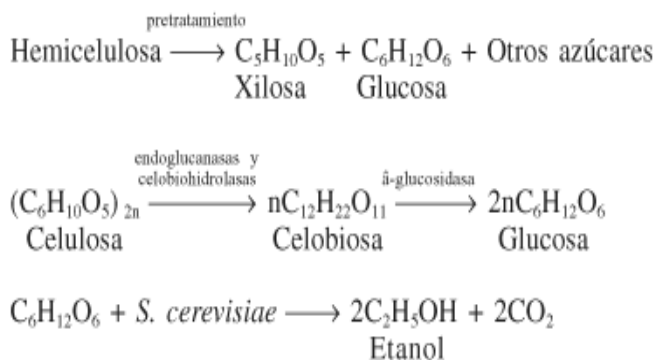


Figura 5. Reacciones para producción de bioetanol

El alcohol producido contiene una parte significativa de agua, que debe ser eliminada. El bioetanol se recupera en el proceso de destilación, dado que el etanol tiene un punto de ebullición menor (78.3°C) que el agua (100°C), y el residuo se puede procesar para recuperar productos químicos.

3. Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la experimentación, la hidrólisis ácida separa las hemicelulosas de las celulosas, obteniéndose una solución rica en xilosa y un residuo sólido que contiene celulosa y lignina. La celulosa se procesa para la obtención de etanol y la solución rica en xilosa se puede procesar para obtener xilosa pura o un derivado o puede ser fermentado a etanol usando microorganismos que fermenten azúcares. Comparando los resultados a diferentes tamaños de partícula, a tamaños de partícula más grande, se produjo una menor solubilización de la fracción hemicelulósica, menor dislocación del revestimiento que la hemicelulosa forma alrededor de la celulosa en consecuencia una menor accesibilidad enzimática.

Tamaño material lignocelulósico(mm)	Conc. levadura (g/l)	Etanol obtenido (ml)/ Kg residuos
0.2	2	4.12
2	2	2.82
0.2	6	12.74
2	6	11.42

El pre-tratamiento del material lignocelulósico es una etapa importante en el procesamiento de los residuos de madera y depende de la tecnología utilizada, ya que permite aumentar los rendimientos de azúcares para ser convertidos en etanol. La conversión bioquímica del material lignocelulósico es una buena alternativa para obtener etanol combustible.

4. Conclusiones

El material lignocelulósico es menos costoso que los materiales convencionalmente usados para producir etanol. El bioetanol obtenido por métodos biotecnológicos constituye una importante alternativa frente a los combustibles fósiles. El costo de producción de bioetanol a partir del material lignocelulósico sigue siendo elevado, obteniéndose bajos rendimientos. El bioetanol producido tiene una cantidad significativa de agua que debe ser eliminada para poder utilizarlo como combustible.

Referencias Bibliográficas

[1] IEA (2013), International Agency Energy. *Biofuels*

- [2] Sarkar, N., Ghosh, S. K., Bannerjee, S., Aikat, K. (2012). Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renewable Energy*. 37. 19-27.
- [3] Cannell M. G. R. (2003). Carbon sequestration and biomass energy offset: theoretical, potential and achievable capacities globally, *Europe and the UK. Biomass Bioenergy*. 24: 97-116.
- [4] Ragauskas A. J, Williams C. K, Davison B. H, Britovsek G, Cairney J, Eckert C. A, Frederick W. J. Jr, Hallett J. P, Leak D. J, Liotta C. L, Mielenz J. R, Murphy R, Templer R, Tschaplinski T. (2006). The path forward for biofuels and biomaterials. *Science*. 311: 484-489.
- [5] Sánchez, O. J., Cardona, C. A. (2008). Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*. 99. 5270-5295.
- [6] Jeffries T. W. (1994). Biodegradation of lignin and hemicelluloses. *Biochemistry of microbial degradation*. Ed. Ratledge C Kluwer, Dordrecht, 233–277.
- [7] Balat, M. (2011). Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. *Energy Conversion and Management*. 52. 858-875.
- [8] Pu, Y., Hu, F., Huang, F., Davison, B. H., Ragauskas, A. J. (2013). Assessing the molecular structure basis for biomass recalcitrance during dilute acid and hydrothermal pretreatment. *Biothechnology for Biofuels*. 6. 15.
- [9] Ballesteros, I., Negro, M. J., Oliva, J. M., Cabañas, A., Manzanares, P., Ballesteros, M. (2006). Ethanol production from steam-explosion pretreatment wheat Straw. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 6. 129-132.
- [10] Ovando Chacón S. L. & Waliszewski K. N. (2005). Preparativos de celulasas comerciales y sus aplicaciones en procesos extractivos. *Universidad y Ciencia*, 21: 111-120.
- [11] Béguin P. & Aubert J. P. (1994). The biological degradation of cellulose. *FEMS Microbiol*. 13: 25-58.
- [12] Pérez J, Muñoz Dorado A, De la Rubia T, Martínez, E. (2002). Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *Int. Microbiol*. 5: 53–63.
- [13] Sun Y, Cheng J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresour. Technol*. 83: 1–11.

Potencial bioquímico de metanización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos de la Ciudad de México usando inóculos provenientes de la planta de composta de bordo poniente.

Tovar Gálvez Luis Raúl, ¹Sánchez Flores Daniela, Rodríguez Tapia Claudia, Gutiérrez Castillo María Eugenia.

Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional. Calle 30 de Junio de 1520 s/n, Barrio La Laguna Ticoman, Delegación Gustavo A. Madero, Ciudad de México 07340. Teléfono 57296000-52719. Correo: ltovarg@ipn.mx

¹Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional.

Resumen

En la Ciudad de México se generan alrededor de 4,800 ton/día de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) en los que se incluyen 1,000 ton/día de poda o residuos de jardinería. Al no contar con el Bordo Poniente IV, único relleno sanitario que fue utilizado por el gobierno de la CDMX desde 1994 hasta diciembre de 2011, la necesidad de manejar mediante tratamientos biológicos la FORSU da origen a este estudio. El uso de digestión anaerobia para procesar la FORSU en la CDMX es muy factible por no contar con rellenos sanitarios en ésta y por cuestiones relacionadas con el cambio climático global, reduciendo las emisiones de metano a la atmósfera y utilizando este hidrocarburo como un biocombustible. Probamos dos inóculos que obtuvimos en la Planta de Composta de Bordo Poniente, caracterizándolos y corrimos el ensayo que se denomina poder bioquímico de metanización. Utilizamos como controles negativos los inóculos, celulosa más inóculo, como control positivo y la FORSU más inóculo, uno u otro inóculo en los últimos dos casos. Encontramos bajo las condiciones del ensayo que uno de los inóculos, cuando se digirió la FORSU, generó significativamente más biogás y mayor contenido de metano en el biogás. Este inóculo, debidamente procesado, puede utilizarse en el arranque del digestor anaerobio a nivel industrial para el procesamiento de la FORSU en la CDMX y en otras ciudades del país.

Palabras Clave: *Digestión anaerobia, Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), Poder bioquímico de metanización (BMP)*

1. Introducción

El arranque de un digestor anaerobio a nivel industrial requiere de una fuente de microorganismos, entre esta microflora ciertamente se requiere la presencia de metanógenos que son anaerobios estrictos.

El objetivo general de este estudio fue determinar la efectividad de dos lixiviados o escurrimientos probados como inóculo, provenientes de la planta de composta Bordo Poniente (PCBP), como biomasa microbiana para producir metano en una prueba a nivel laboratorio, usando como sustrato la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) también provenientes de la PCBP.

Los objetivos específicos fueron:

- 1) Caracterizar fisicoquímicamente la FORSU y los dos tipos de lixiviados provenientes de la PCBP.
- 2) Determinar el poder bioquímico de metanización (BMP) de la FORSU probando como inóculo los dos lixiviados, en condiciones de operación previamente establecidas para la prueba a nivel laboratorio.
- 3) Determinar la cantidad de biogás producida y su composición mediante cromatografía de gases.

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente el manejo de los RSU representa un problema para la ciudad de México (CDMX) debido a los grandes volúmenes que se producen a diario y a que actualmente ya no existe un sitio para su disposición final como era hasta diciembre de 2011 que se contaba con el relleno sanitario Bordo Poniente IV. Aunado a lo anterior, del total de los RSU recibidos en las Estaciones de Transferencia (ET) de la CDMX, más del 44 % de ellos son orgánicos (Orta *et al.*, 2014), aproximadamente 4,800 ton/día, buscándose reducir su volumen mediante tratamientos biológicos y alternativas para que esta reducción se lleve a cabo en un tiempo más corto, como la digestión anaerobia de la FORSU en la CDMX.

1.2 Justificación

Los principales gastos que se tienen en el manejo integral de los RSU en la CDMX son su transporte a ET y a sitios de disposición final y su disposición final. El composteo es una alternativa de tratamiento para la fracción orgánica de los residuos sin embargo, requiere de 40 a 70 días para que la composta se estabilice y madure (NADF-020.AMBT-2011) además de ocupar terrenos con grandes superficies.

En diferentes estudios se ha descrito que con los métodos de tratamiento biológico se han obtenido buenos resultados en cuanto a grado de degradación de la FORSU, en especial con la digestión anaerobia. El uso de un digestor anaerobio ayuda a reducir el tiempo de tratamiento de los residuos orgánicos y da la posibilidad de aprovechar la cantidad de metano producida por unidad de materia orgánica e incluso usar el digestato como fertilizante o mejorador de suelos.

Sin embargo, la producción de metano para su posterior aprovechamiento depende de los parámetros fisicoquímicos de operación, del sustrato utilizado y de la adición al inicio de un inóculo adecuado para que los grupos microbianos intervengan de forma eficiente en la degradación de la materia orgánica. Esto justifica un ensayo a nivel laboratorio para probar la eficiencia, en cuanto a la cantidad de metano producido, al usar uno u otro inóculo para digerir la FORSU de la CDMX.

1.3 Hipótesis

Si alguno o ambos de los lixiviados probados es efectivo como inóculo en la prueba del BMP, la FORSU generada en la CDMX podría ser fuente de metano, y el inóculo que produzca más metano de los dos probados podría ser utilizado en la digestión anaerobia a nivel industrial de la FORSU, que se contempla en la CDMX.

2. Metodología y desarrollo

2.1 Muestreo

La unidad de muestreo se refiere al lugar donde se toman las muestras. La PCBP fue la unidad de muestreo de los residuos orgánicos y lixiviados y el muestreo se realizó en el mes de Noviembre del 2014 correspondiente a la época seca fría. Este sitio se seleccionó debido a que ahí hay una alta concentración de los residuos orgánicos separados en fuente y provenientes de las 16 delegaciones de la CDMX.

El tamaño de muestra de la FORSU se determinó tomando en cuenta el número de análisis contemplados en la caracterización fisicoquímica del sustrato, la cual fue alrededor de 4 kg. El muestreo se realizó en la pila con residuos provenientes de la delegación Cuauhtémoc. Dado que la pila medía escasos 2 metros de altura y aproximadamente 15 m de largo, se escogieron 5 puntos a lo largo de la pila para tomar las muestras simples. Las 5 muestras simples se mezclaron para formar una muestra compuesta. Lo anterior se realizó por triplicado en la misma pila, al final se obtuvo una única muestra compuesta. El muestreo fue realizado con una modificación del “Método de muestreo sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos” (Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia, 2006).

En la PCBP se producen escurrimientos de las pilas en que se compostea la FORSU que generan los ciudadanos, la presencia de fracción inorgánica es entre 3 a 5%. Se tomaron 3 litros de cada tipo de escurrimiento o lixiviado. El “Lixiviado cárcamo” fue tomado a la entrada del cárcamo de concentración final de lixiviados, de aproximadamente 1.5 m de profundidad y 200 m² que es el sitio en que por gravedad llegan los escurrimientos de las pilas de composta de la PCBP. El “Lixiviado pila” fue tomado del escurrimiento reciente de pilas frescas de 1 mes. Todas las muestras se trasladaron al laboratorio.

En la Figura 1 se muestra la pila de donde se realizó el muestreo de residuos orgánicos. La Figura 2 aparece el escurrimiento de la pila. En la Figura 3 aparece el cárcamo donde por gravedad se concentran los escurrimientos de las diferentes pilas. Se pudo observar que en la FORSU abundan vegetales, frutas y residuos de poda, siendo escasos los residuos animales pero hay animales muertos que la ciudadanía entrega el Servicio Público de Limpia, como se puede observar en la Figura 3. En cuanto al escurrimiento que se acumula en el cárcamo tiene un color negro y hay burbujeo en la superficie. Por otro lado el lixiviado de la pila desprende un olor dulce y persistente, su color es café claro.



Figura 1. Recolección de FORSU en varios puntos



Figura 2. Toma de escurrimiento de pila



Figura 3. Cárcamo donde se recolecto escurrimiento de todas las pilas de la PCBP

2.2 Pretratamiento

La FORSU se redujo a un tamaño de 1 x 1 cm² para posteriormente realizar el método de cuarteo de acuerdo a la NMX-AA-015-1985 sobre método de cuarteo de residuos sólidos municipales. Del total de la muestra, se refrigeró la mitad a 4 °C para la prueba de BMP y lo restante se usó para caracterización fisicoquímica (de lo cual 1/4 se secó en estufa a 105 °C).

Para los escurrimientos, 1 L de cada uno se refrigeró para caracterizarlos fisicoquímicamente y una cantidad similar fue puesta en una incubadora sin agitación a 55 °C ± 5°C y condiciones anaerobias por 10 días, esto para que los microorganismos contenidos en el inóculo se readaptaran y aclimataran, con el fin de que si contenían aún materia orgánica en estos, ésta se degradara más rápido y remover el metano disuelto (Hansen *et al.*, 2003).

2.3 Caracterización de los materiales

La caracterización fisicoquímica de la FORSU y de los escurrimientos probados, incluye la determinación de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), carbono orgánico total COT, pH, potencial óxido reducción (ORP) y nitrógeno total (NT). Para la determinación de ST, SV, pH y COT de la FORSU se usaron los métodos citados por Sadzawka *et al.* (2005). Para el caso de los escurrimientos y la FORSU, se calculó el %COT de la siguiente manera: $\%COT = \%ST / 1.8$.

2.4 Prueba del BMP

El procedimiento para llevar a cabo el BMP, se adaptó y modificó de los procedimientos descritos por Angelidaki y Sanders (2004) y Hansen *et al.* (2003). El tratamiento consistió en probar la relación de SV de inóculo: sustrato.

Además del tratamiento de la FORSU con dos inóculos (Figura 4), se usaron como controles negativos viales con únicamente inóculo (ello para contabilizar la producción y composición del biogás que por sí mismo produce el inóculo como resultado de la materia orgánica que posiblemente contenga) y el control positivo que contenía papel filtro, hecho únicamente a partir de celulosa, y cada inóculo por separado y ambos inóculos también por separado (para probar que estos eran viables). Este ensayo fue tipo batch y se corrió por triplicado debido a que es un método de prueba biológico y el sustrato usado se considera relativamente heterogéneo. En la Tabla 1 se observa lo que contuvieron los viales en los que se realizó la prueba para comparar ambos inóculos.



Figura 4. Los viales que se utilizaron para probar el efecto de cada lixiviado en la FORSU

Tabla 1. Diferentes tratamientos para probar el efecto de cada inóculo en la FORSU

Denominación	Función	Nombre del vial	Sustrato	Inóculo
Escurrimiento	Control negativo de tratamiento 1.	BE1 BE2 BE3	-	Escurrimiento cárcamo
Celulosa	Control positivo de tratamiento 1.	CELBE1 CELBE2 CELBE3	Papel celulosa	
Fracción orgánica	Tratamiento 1.	FBE1 FBE2 FBE3	Fracción orgánica	
Escurrimiento	Control negativo de tratamiento 2.	BPC1 BPC2 BPC3	-	Escurrimiento pila
Celulosa	Control positivo de tratamiento 2.	CELPC1 CELPC2 CELPC3	Papel celulosa	
Fracción orgánica	Tratamiento 2.	FPC1 FPC2 FPC3	Fracción orgánica	

Se emplearon viales de 125 mL, se agregó la cantidad de inóculo y sustrato calculado previamente a completar un volumen de 60 mL (dejando un espacio libre de cabeza de 65 mL), los viales fueron cerrados con septas y un cinturón de aluminio. En seguida se les extrajo el aire por medio de una jeringa a través de la septa de hule y se colocaron en la incubadora para mantener los viales a 60 rpm y 55 °C. Al siguiente día se purgaron con gas helio durante 40 segundos y se volvieron a colocar en la incubadora por un tiempo de retención hidráulica de 56 días.

2.5 Medición de la generación y composición del biogás

En el transcurso de ese tiempo se tomaron tres muestras de 2 mL de biogás a la semana, acumulado en el espacio de cabeza del vial cerrado por medio de una jeringa (Figura 5) y se analizó su contenido de metano y dióxido de carbono mediante cromatografía de gases (CG) con detección de conductividad térmica (TCF) (Figura 6) (Angelidaki y Sanders, 2004).



Figura 5. Medición de la generación de biogás

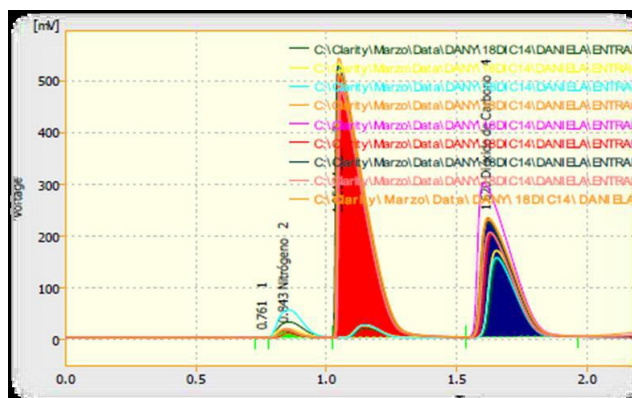


Figura 6. Composición del biogás por CG

Para la medición por CG se utilizó una curva de calibración realizada previamente por Álvarez Pérez (Comunicación personal, 2015).

Durante el tiempo de monitoreo también se midió la cantidad de biogás en el espacio libre de cabeza del vial por medio del desplazamiento de una jeringa de 3 mL hasta la igualación de la presión interna del vial con la atmosférica, a este volumen se le sumó el volumen del espacio libre de cabeza correspondiente a 65 mL para obtener el volumen total de biogás producido.

Los resultados de BMP de los tratamientos propuestos fueron corregidos restando la producción de metano del blanco negativo, para que ese resultado únicamente presentara la producción de metano de la FORSU y no del inóculo (Hansen *et al.*, 2003).

3. Resultados y discusión

Dado que el sitio de muestreo, la PCBP, es un lugar donde se acumula gran cantidad de la FORSU generada en la CDMX, que fue separada en el origen, consideramos que el muestreo realizado para este ensayo fue representativo de la composición de la FORSU. La necesidad de caracterizar la FORSU radica en que varía su composición y por ende, sus características según el lugar de origen e incluso la época del año.

Algunos autores dan los resultados de producción de metano a condiciones estándar de temperatura y presión (STP) y otros a condiciones normales de temperatura y presión (NTP). En este caso fue a condiciones NTP.

La prueba de BMP se realizó considerando cumplir la relación 1:1 en g de SV de inóculo: sustrato. La experimentación fue batch y por triplicado para asegurar la repetitividad y reproducibilidad de los resultados ya que el sustrato era relativamente heterogéneo.

3.1 Caracterización inicial

En la Tabla 2 aparecen las cantidades de g SV/mL de solución usado para cada tratamiento experimental en el ensayo a nivel laboratorio. Se observa que para el tratamiento con escurrimiento de cárcamo no se rebasó la concentración recomendada por Hansen *et al.* (2003) de 0.02 g SV/mL, ello para cumplir con el propósito de obtener una buena representatividad, medir la producción de biogás fácilmente, evitar volúmenes demasiado grandes y poco prácticos de los reactores así como de producción de biogás y por supuesto mantener la solución diluida, anular la inhibición por la acumulación de AGV y por lo tanto evitar la acidificación del proceso. Por lo anterior, la concentración usada con el escurrimiento del cárcamo, es menos de la mitad de lo recomendado; y para el tratamiento con lixiviado de pila se rebasó a más del doble.

Tabla 2. Cantidad de g de SV/ml de solución usada

Muestra	g SV/mL de solución
Blanco positivo escurrimiento de cárcamo	0.08
Tratamiento escurrimiento de cárcamo	0.007
Blanco positivo escurrimiento pila	0.054
Tratamiento escurrimiento pila	0.045

En la Tabla 3 aparecen los parámetros fisicoquímicos de los materiales que se probaron.

Tabla 3. Características iniciales de los sustratos e inóculos usados en la prueba de BMP

Muestra/Parámetro	%ST	%SV	%COT	ORP (mV)	pH	CE (dS/m)
Fracción orgánica	75.73± 0.95	91.39±0.09	50.77±0.05	106.33±11.9	3.92±0.03	2137±166.8
Papel celulosa	96.06±0.32	95.09±0.43	52.88±0.24	nd	nd	Nd
Escurrecimiento pila	8.43±0.24	68.20±0.03	37.89±0.01	-51.33±1.15	4.4±0.01	1748±197.73
Escurrecimiento cárcamo	2.70±0-006	30.63±0.82	17.02±0.46	-391.67±6.11	8.37±0.001	1432±138.48

En la Tabla 3 se muestra que la FORSU es ácida, por lo que el inóculo deberá tener la capacidad de amortiguamiento del pH del sistema que lo use como sustrato.

En cuanto a los escurrimientos empleados, el escurrimiento de cárcamo mostró un pH inicial básico, lo cual no sucedió con el escurrimiento de pila que fue ácido; ello fue una condición no deseable ya que, según Campos *et al.* (2012), un pH menor a 6.6 se torna tóxico para el medio dentro del digestor. La razón puede ser que en este escurrimiento hubo un aumento de ácidos grasos volátiles (AGV) que desencadenó un descenso de pH (Krishania *et al.*, 2012). Por lo anterior, antes de la prueba el escurrimiento de pila se llevó hasta un pH de 8.5 mediante la adición de hidróxido de sodio.

Un elemento que parecía alentador, era el contenido de ST y SV del escurrimiento de pila sin embargo, esto no determinó su efectividad a pesar de que por este contenido se agregó menos mililitros del inóculo por cantidad de sustrato.

3.3 Biogás, su producción y composición

Hansen *et al.* (2003) reportan que típicamente del 80 al 90% del metano de un sustrato es producido durante los primeros 8 a 10 días sin embargo, algunos residuos orgánicos pueden ser degradados lentamente y la medición debe continuar por mayor tiempo para asegurar el máximo potencial de metano del sustrato.

A pesar de lo mencionado, la prueba de BMP para la experimentación con el escurrimiento de cárcamo, no mostraba disminución en la cantidad de metano o biogás a los 10 días, de hecho en ese momento comenzaba a producir una mayor cantidad, por lo que se monitoreó por 56 días.

Cuando se usó el escurrimiento de cárcamo, la celulosa produjo un poco más de biogás que la fracción orgánica, pero es constante el hecho de que el blanco negativo siempre produjo menos que los dos anteriores. Del día 41 al 56 se ve una tendencia a bajar la cantidad de biogás producido (Figura 7).

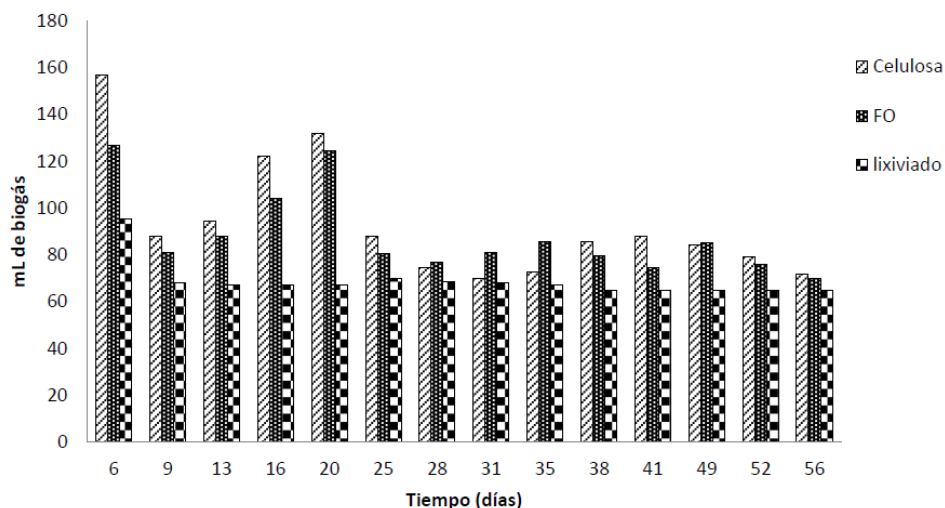


Figura 7. Cantidad bruta de biogás usando el escurrimiento del cárcamo.

En la Figura 8 se observan los resultados netos de la producción de biogás, para ello se restaron los valores del lixiviado (control negativo) a los resultados de celulosa (control positivo) y FORSU.

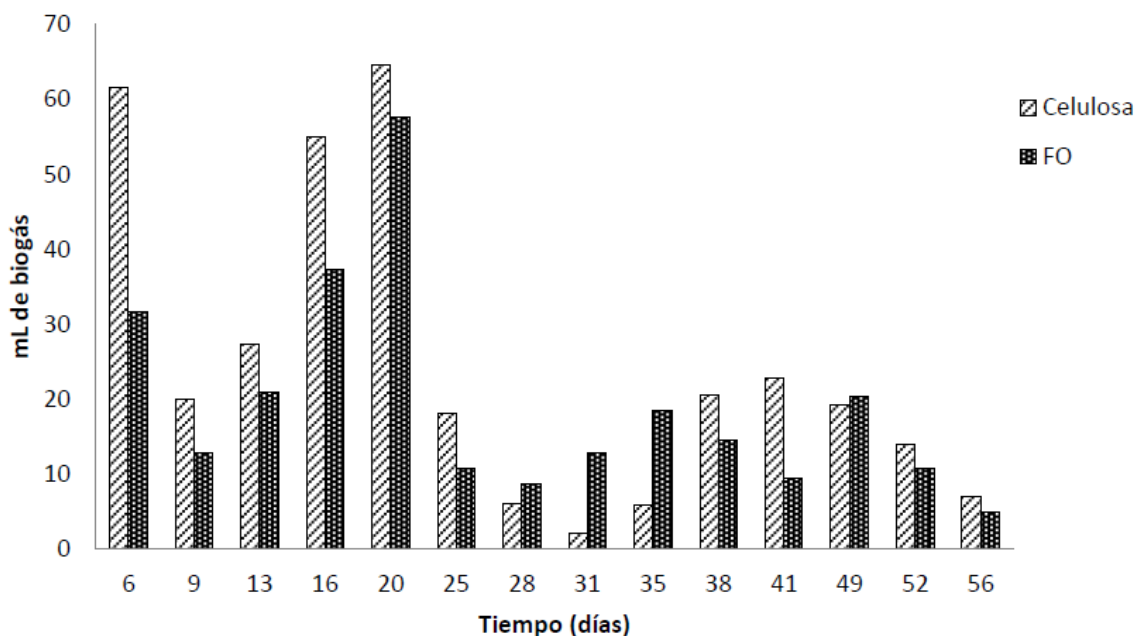


Figura 8. Cantidad neta de biogás usando el escurrimiento del cárcamo.

De acuerdo a las fases del proceso de descomposición de los residuos en un relleno sanitario citadas por Encarnación y Kiss (2007), el escurrimiento de cárcamo usado en la fase experimental de este ensayo posee características similares a los originados en un relleno maduro de más de 10 años con un pH de 6.6 a 7.5, con la diferencia que el escurrimiento de cárcamo tuvo un pH de 8.37, que es similar a un pH generado en la fase IV de un relleno sanitario. Por lo anterior, éste se cataloga como un lixiviado maduro.

En contraste cuando se usó el escurrimiento de pila como inóculo, el máximo de biogás inicial producido fue mucho menor para los casos de la FORSU, celulosa e inóculo que cuando se usó el escurrimiento del cárcamo (Figura 9).

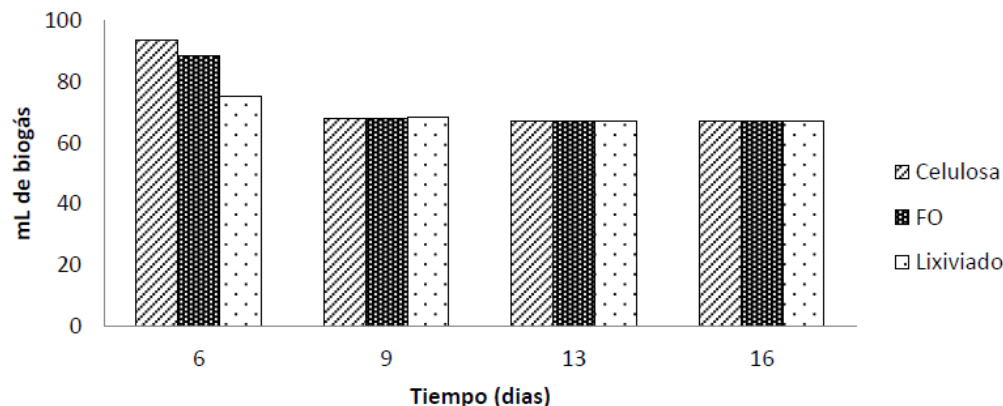


Figura 9. Cantidad bruta de biogás usando el escurrimiento de pila.

Lo anterior se nota mejor al obtener los resultados netos, debido a que la producción había sido similar en el blanco negativo, positivo y con la FORSU cuando se utilizó el lixiviado de pila como inóculo, sólo hubo una pequeña producción de biogás en la primera medición hecha a los 6 días (Figura 10).

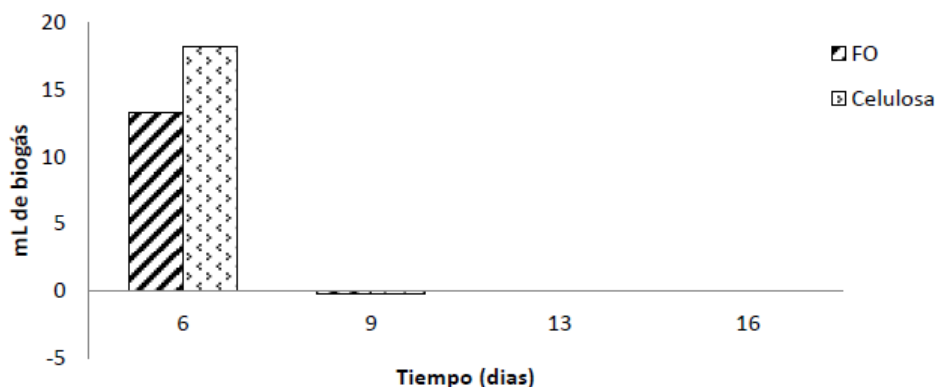


Figura 10. Cantidad neta de biogás usando el escurrimiento de pila.

El escurrimiento de pila coincide con las características reportadas para un lixiviado generado en la fase II de un relleno sanitario debido a que posee un pH bajo (4.4 ± 0.01) y junto con la FORSU genera biogás constituido en mayor proporción por CO_2 y menor porcentaje de nitrógeno pero sin metano, tal como sucedió en la prueba. Una razón de lo anterior es que las comunidades microbianas, dado que es un lixiviado joven, pudieron aún no estar totalmente desarrolladas.

El ORP del lixiviado de cárcamo es menor a -300 mV, este indicador es de vital importancia. Por otra parte, el lixiviado de pila no cumple con lo reportado como óptimo en ORP por Campos *et al.* (2012), aunque tuvo un ORP negativo de -51.33 ± 1.15 mV, no fue inferior a -300 mV, lo que habría influido en la disponibilidad de aceptores de electrones en condiciones anaerobias, tales como nitrato, hierro, sulfato o dióxido de carbono, de modo que no hubo suficiente energía liberada en el proceso para el crecimiento y mantenimiento de la población microbiana (Angelidaki y Sanders, 2004).

En cuanto a las características iniciales de la celulosa utilizada para nuestro ensayo, en el caso del blanco positivo, el %ST es de 96.06 ± 0.32 , de lo cual el $95.09 \pm 0.43\%$ es de SV. La celulosa empleada en el ensayo reportado por Raposo *et al.* (2011) contuvo 97% de ST, de lo cual el 100% es SV, por lo tanto la celulosa que se usó en este estudio tuvo ligeramente menor cantidad de SV.

El experimento con el escurrimiento de pila se concluyó a los 16 días de haberlo iniciado dado que no existió producción de metano. La literatura recomienda que si el BMP es bajo, debe aumentarse la proporción entre

el sustrato y el inóculo (Hansen *et al.*, 2003), para este caso pudo haberse intentado ésta alternativa, pero el pH del inóculo era muy bajo desde su muestreo.

3.4 Composición del biogás en el escurrimiento del cárcamo, celulosa y FORSU

El blanco negativo, el inóculo solamente, produce en su mayoría bióxido de carbono y nitrógeno, el metano se incrementa conforme avanzan los días (Figura 11). Sin embargo, cuando se coloca como sustrato celulosa y FO (Figura 12 y 13) la producción de nitrógeno es despreciable, predominando bióxido de carbono y metano, este último va aumentando en la medida que pasa el tiempo incluso alcanzando niveles cerca del 80%.

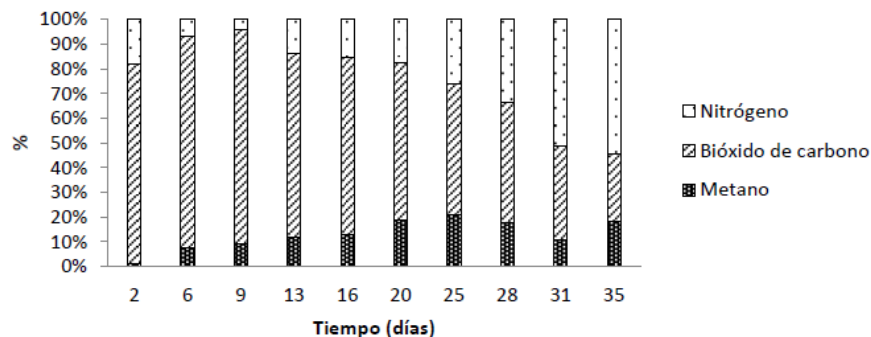


Figura 11. Composición del biogás producido por el blanco negativo (escurrimiento de cárcamo).

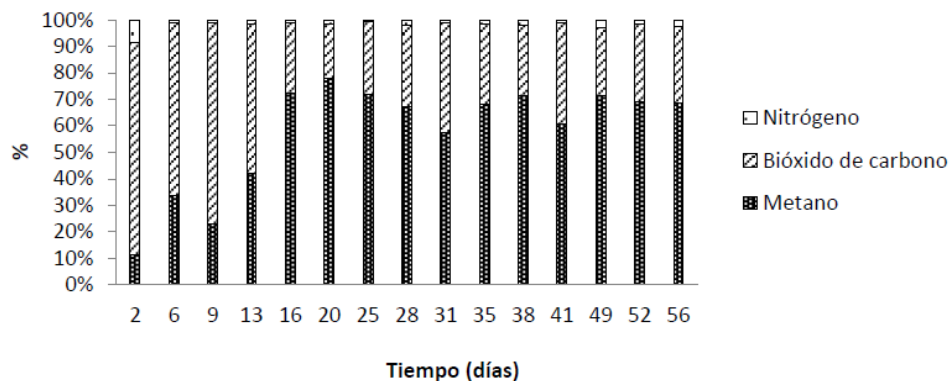


Figura 12. Composición del biogás producido por el blanco positivo (celulosa) al usar escurrimiento de cárcamo.

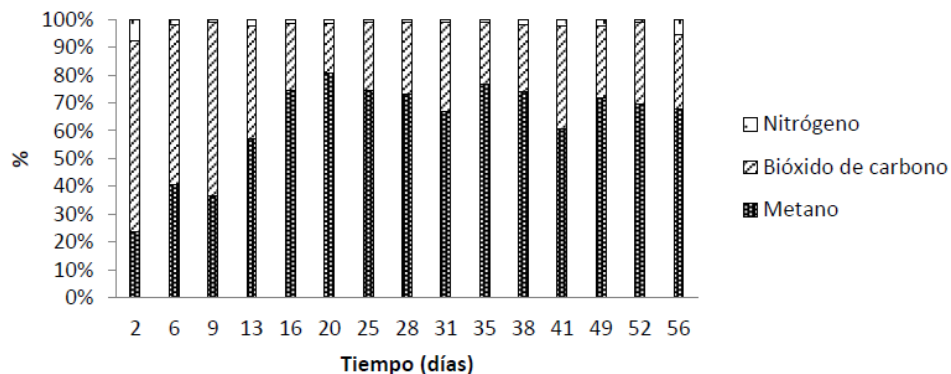


Figura 13. Composición del biogás producido por la FORSU al usar escurrimiento de cárcamo.

La celulosa y la FORSU como sustratos, cuando se utiliza el escurrimiento de cárcamo como inóculo, producen cantidades muy parecidas de metano, así como de CO₂, siendo ligeramente mayores para el caso de la FORSU en la producción de metano.

4. Referencias

- Alvarez Pérez, B. E. (2015). Comunicación personal. Ficha técnica Cromatografo de Gases Perkin Elmer Autosystem.
- Angelidaki, I., y Sanders, W. (2004). Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 3, 117-129.
- Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Protocolo de muestreo para la biomasa residual, 2006. Consultado en: http://vie.uis.edu.co/ATLAS/ANEXO_C_ATLAS.pdf en Julio 2015.
- Campos, E., Elias, X., y Flotats, X. (2012). Procesos biológicos: la digestión anaerobia y el compostaje (pp. 618-619). Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Hansen, T. L., Ejbye Schmidt, J., Angelidaki, I., Marca, E., la Cor Jansen, J., Mosbaek, H., & Christensen, T. H. (Septiembre de 2003). Methods for determination of methane potentials of solid organic waste. *Waste Management*, 24, 393-400.
- Kiss, G. y Encarnación, G. Los productos y los impactos de la descomposición de los residuos sólidos urbanos en los sitios de descomposición final. 2006.
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetas/497/kiss.html>
- Krishania, M., Kumar, V., Kumar Vijay, V., & Malik, A. (2012). Analysis of different techniques used for improvement of biomethanation process: A review. *Fuel*, 106, 1-9.
- Orta, M.T., Saucedo Castañeda, G, Tovar Gálvez L.R. 2014. Composición y generación de residuos sólidos urbanos de la Ciudad de México durante 2008-2009. Incluye los generados en la Central de Abasto del D.F. 2ª Edición, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa.
- Norma ambiental para el distrito federal nadf-020-ambt-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal, 30 de noviembre de 2012, pp. 69-83.
- NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985. PROTECCIÓN AL AMBIENTE CONTAMINACIÓN DEL SUELO – RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES - MUESTREO - MÉTODO DE CUARTEO
- Raposo, F., Fernández-Cegrí, V., De la Rubia, M. A., Borja, R., Béline, F., Cavinato, C., Demirer, G., Fernández, B., Fernández-Polanco, M., Frigon, J. C., Ganesh, R., Kaparaju, P., Koubova, J., Méndez, R., Menin, G., Peene, A., Scherer, P., Torrijos, M., Uellendahl, H., Wierinck, I., Wilde, V. (2011). Biochemical methane potential (BMP) of solid organic substrates: evaluation of anaerobic biodegradability using data from an international interlaboratory study. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 86, 1088-1098.
- Sadzawka R., A., Carrasco R., M. A., Grez Z., R., & Mora G., M. D. (2005). Métodos de análisis de compost. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias

Uso de glicólisis para el reciclado químico de polietilentereftalato

¹ Leticia Nuño Licona, Berenice Quintana Díaz, José Luis Contreras Larios, Carlos Tapía Medina

¹ Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Av. San Pablo # 180 Col. Reynosa Tampaulipas C.P. 02200, 53.18.90.00 ext. 2057, lnl@correo.azc.uam.mx

Resumen

Se investigó sobre el proceso para reciclar químicamente el polímero polietilentereftalato post-consumo con la finalidad de producir principalmente bis-hidroxitilenteraftalato mediante glicólisis, la cual se llevó a cabo utilizando etilenglicol y acetato de plomo como catalizador. En las reacciones se variaron las cantidades de catalizador (0.04-0.08 g), así como el rango de temperaturas (180-220°C) manteniendo constante la cantidad de etilenglicol (3ml) y la cantidad de polietilenteraftalato (4g). A partir de los oligómeros obtenidos de cada una de las reacciones, para separar el bis-hidroxitilenteraftalato completamente de la mezcla de reacción, el contenido de cada muestra del reactor fue enfriada a temperatura ambiente y extraída tres veces con agua hirviendo. La estructura del producto obtenido se caracterizó mediante el análisis de espectrometría infrarrojo, y en todos los experimentos se obtuvieron los grupos funcionales presentes en el bis-hidroxitilenteraftalato. La reacción de glicólisis del polietilenteraftalato con acetato de plomo produce básicamente el bis-hidroxitilenteraftalato. La concentración de acetato de plomo es factor decisivo en la conversión del polietilenteraftalato seguido por la temperatura.

Palabras Clave: *bis-hidroxitilenteraftalato, glicólisis, polietilenteraftalo.*

1. Introducción

Un problema ambiental relevante es la acumulación de polietilenteraftalato (PET). Japón, el país más avanzado en este campo, registró una tasa de reciclado de botellas de PET (volumen total de recolección/volumen de botellas vendidas) de 77.9 % en 2009, según datos de su Consejo de Reciclaje de Botellas de Polietilenteraftalato. Por su parte, Europa fija ese valor en 48.3%, de acuerdo con la Asociación Europea de Reciclaje de Contenedores de PET (Petcore), y Estados Unidos de 28%, según la Asociación de Resinas de PET (Petra). Para países latinoamericanos, como Brasil con una tasa de 55.6%, seguido por Argentina con 34%, según reportes de la Asociación Brasileña de la Industria del PET (Abipet). En México se estima un consumo de alrededor de 800 mil toneladas de polietilenteraftalato al año, con un crecimiento anual de 13% [1]. El principal uso de los envases de PET en México lo llevan las botellas de refresco, con más del 50%, seguido del agua embotellada (17%). La mayoría de los envases de PET son dispuestos en rellenos sanitarios, cauces, calles o tiraderos clandestinos.

Para evitar la contaminación medioambiental PET una alternativa de tratamiento para su degradación química es la reacción de glicólisis [2], que es el proceso de depolimerización mediante *trans*-esterificación entre el grupo éster del polietilenteraftalato y un diol, generalmente etilenglicol, en exceso para obtener el bihidroxilenteraftalato, de acuerdo a la siguiente reacción:

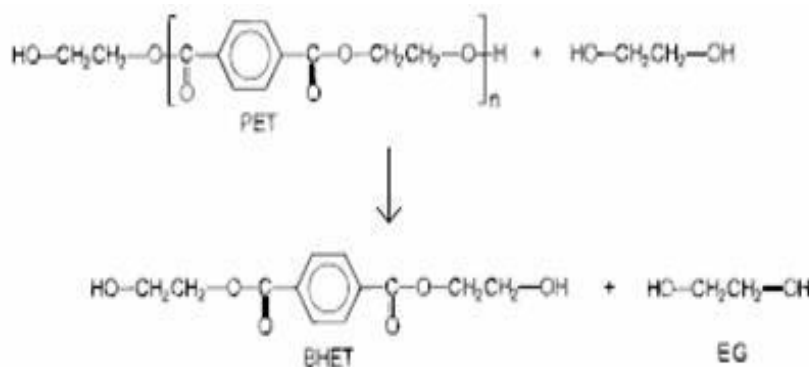


Figura 1.

En esta reacción, el rompimiento de la cadena polimérica se efectúa por formación de deficiencia de carga en el carbono del carbonilo perteneciente al PET, haciéndolo susceptible a un ataque nucleofílico por un grupo hidroxilo del glicol [3], [4].

2. Metodología/Desarrollo

La glicólisis se efectuó en un matraz de tres bocas, equipado con un condensador, un termómetro, trampa de agua y un agitador magnético. Se colocaron 4g de gránulos de PET, con 3ml de etilenglicol y 0.04 a 0.07g de catalizador. La reacción se realizó en un intervalo de temperaturas de 180 a 230°C para asegurar la formación de bis-hidroxietiltereftalato (BHTE) por un espacio de 2.5 horas.

A partir de un diseño de experimentos, se muestran las condiciones bajo las cuales se llevaron a cabo las diversas reacciones de glicólisis. (Ver tabla 1).

Tabla 1. Características de los procesos de glicólisis con catalizador de PbOAc.

Experimento	Temperaturas °C	Catalizador (g)	etilenglicol (ml)	tiempo (h)	PET (g)
1	180- 190	0.04	3	2.5	4
1 -A	180- 190	0.04	3	2.5	4
2	190- 200	0.04	3	2.5	4
3	220 -230	0.04	3	2.5	4
4	180 - 190	0.05	4	2.5	4
5	180-190	0.05	3	2.5	4
6	220 - 230	0.05	3	2.5	4
7	180 - 190	0.06	3	2.5	4
8	200 - 210	0.06	3	2.5	4
9	200 - 210	0.06	3	2.5	4
10	220 - 230	0.06	3	2.5	4
11	180 - 190	0.07	3	2.5	4
12	195 - 200	0.07	3	2.5	4
13	200 - 210	0.07	3	2.5	4
14	210 - 220	0.07	3	2.5	4
15	180 - 190	0.08	3	2.5	4

Para separar el BHTE completamente de la mezcla de reacción, ésta fue enfriada a temperatura ambiente y extraída tres veces con agua hirviendo, agitada vigorosamente y filtrada, a continuación se enfrió a 4°C

durante 5 horas para que se formaran las hojuelas blancas correspondientes al bis-hidroxietiltereftalato. Éstas fueron filtradas y secadas para eliminar trazas de agua, posteriormente se procedió a la caracterización mediante espectroscopía de infrarrojo (FT-IR).

3. Resultados

A partir de los espectros de de infrarrojo de las diferentes muestras de reacción de glicólisis, se pueden identificar los grupos hidroxilo y carboxilo en los oligómeros obtenidos, que indican la degradación del PET y la obtención del BHTE y EG [5], [6]. Para el rango de temperaturas de 180 – 190°C y 0.04g de catalizador se aprecia una banda ubicada en la longitud de onda de 3429 cm^{-1} que corresponde al grupo hidroxilo O-H, el cual se tomó como referencia para verificar que se logró la glicólisis del PET (ver Figura 1).

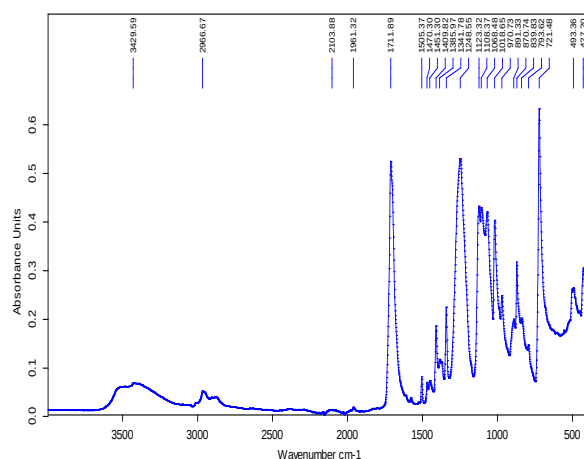


Figura 1. Espectro de infrarrojo del producto de reacción para 0.04g de catalizador y 180-190°C.

Los grupos funcionales: O-H 3429 cm^{-1} , C-H 2966 cm^{-1} , C=O, C-O 1711 cm^{-1} , 1248 cm^{-1} y C-H 721 cm^{-1} . Se aprecia la formación del grupo hidroxilo que es uno de los grupos funcionales presentes en el BHTE.

Para la misma cantidad de catalizador con un aumento de la temperatura de 220 - 230°C (ver Figura 2).

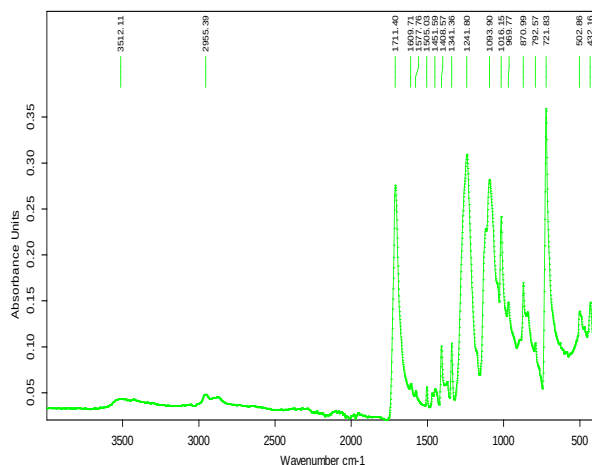


Figura 2. Espectro de infrarrojo del producto de reacción para 0.04g de catalizador y 220-230°C.

Los grupos funcionales: O-H 3512 cm^{-1} , C-H 2955 cm^{-1} , C=O 1711 cm^{-1} , C-O 1241 cm^{-1} y C-H 721 cm^{-1} . Para la misma cantidad de catalizador con un aumento de la temperatura de $220 - 230^{\circ}\text{C}$, se tiene un desplazamiento de la longitud de onda del grupo O-H.

En la figura 3, se muestra el infrarrojo para el caso en el cual se aumentó la cantidad de catalizador a 0.05g , con un rango de temperaturas de $180 - 190^{\circ}\text{C}$.

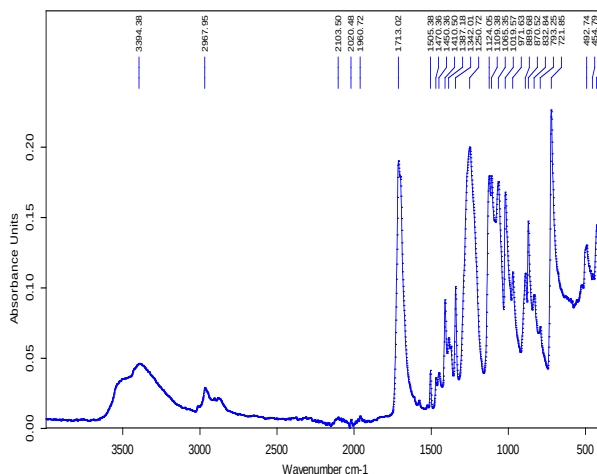


Figura 3. Espectro de infrarrojo del producto de reacción para 0.05g de catalizador y $180-190^{\circ}\text{C}$.

Los grupos funcionales: O-H 3369 cm^{-1} , C-H 2964 cm^{-1} , C=O 1711 cm^{-1} , C-O 1246 y C-H 723 cm^{-1} .

En la figura 4, se muestra el infrarrojo para cuando hay un aumento en la cantidad de catalizador y con un rango de temperatura de $220-230^{\circ}\text{C}$.

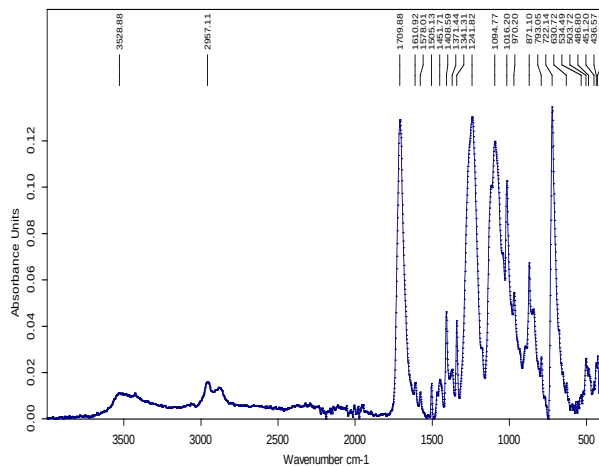


Figura 4. Espectro de infrarrojo del producto de reacción para 0.05g de catalizador y $220-230^{\circ}\text{C}$.

Los grupos funcionales: O-H 3429 cm^{-1} , C-H 2954 cm^{-1} , C=O 1711 cm^{-1} , C-O 1246 y C-H 721 cm^{-1} , lo que indica que se obtiene una mayor conversión cuando se suministra una mayor cantidad de catalizador y una temperatura elevada.

La figura 5 muestra el infrarrojo cuando se utilizaron 0.07 g de catalizador con un rango de temperatura de $180-290^{\circ}\text{C}$.

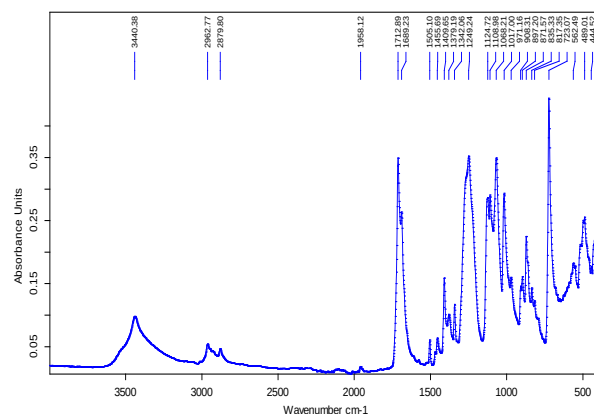


Figura 5. Espectro de infrarrojo del producto de reacción para 0.05g de catalizador y 180-190°C.

Los grupos funcionales: O-H 3443 cm^{-1} , C-H 2963 cm^{-1} , C=O 1711 cm^{-1} , C-O 1247 y C-H 721 cm^{-1} .

La figura 6 muestra el infrarrojo cuando se utilizaron 0.07 g de catalizador con un rango de temperatura de 220-230°C.

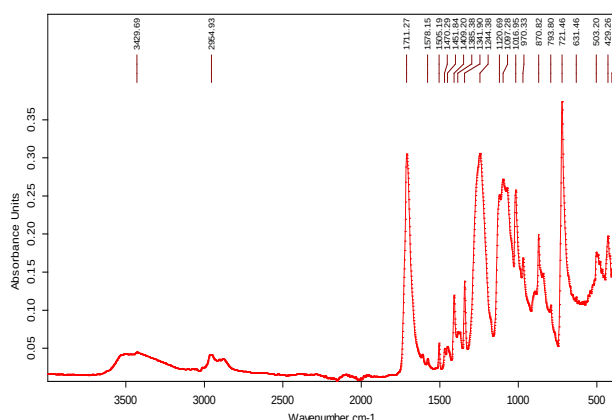


Figura 6. Espectro de infrarrojo del producto de reacción para 0.05g de catalizador y 220-230°C.

El principal efecto en la conversión durante la glicólisis es la concentración de catalizador. En la influencia del tiempo de glicólisis sobre la conversión se alcanzó un rendimiento mayor al 90% después de 1 hora y en concordancia con los resultados obtenidos por Chen et al. [2], quienes encontraron una conversión del 98.8% en 1.5 horas.

A los 45 min de iniciada la reacción de glicólisis, se aprecian los primeros indicios de degradación del PET y después de una hora casi se ha degradado en su totalidad, lográndose su degradación total antes de las dos horas, lo que concuerda con el tiempo reportado por varios investigadores [7]. La apariencia del producto obtenido de la glicólisis resultó color café y consistencia viscosa.

El efecto que tiene la elevación de la temperatura para una misma cantidad de catalizador, se manifiesta como un aumento en la banda del grupo hidroxilo de 3429 a 3512 cm^{-1} . Y el efecto que tiene el aumento en la cantidad de catalizador en la banda del grupo hidroxilo es de 3429 a 3443 cm^{-1} .

4. Conclusiones

El catalizador juega un papel fundamental en el proceso de degradación, de tal manera que su ausencia en el medio de reacción, impide el rompimiento de la cadena polimérica. El efecto catalítico del acetato de plomo propicia un rompimiento de la cadena polimérica por formación de deficiencia de carga en el carbono del carbonilo perteneciente al PET haciéndolo susceptible a un ataque nucleófilico por un grupo hidroxilo del etilenglicol, obteniéndose cadenas más pequeñas. Al modificar las condiciones de reacción varía el producto obtenido, produciendo el bishidroxietiltereftalato, cuando se lleva a cabo la degradación con una mayor concentración (0.07g) y temperatura de reacción (210-230°C) en un periodo de dos horas. En cada una de las gráficas de los espectros FT-IR de los productos de la glicólisis, se presentaron las principales señales obtenidas en los oligómeros, al igual que los grupos funcionales a los cuales se les atribuyen dicha señal. Apreciándose además que el efecto de la concentración del catalizador es más importante que el efecto de la temperatura.

Referencias

- [1]. "Lineamientos PET 2014". SEMARNAT. En línea <www.semarnat.gob.mx/.../documentos/.../pet/lineamientos_operativos_PET.pdf> Recuperado 31/13/2016.
- [2] Chen Ch. H., Chen Ch. Y., Lo Y. W., Mao Ch. F., Liao W.T. (2001). Studies of glycolysis of polyethylene terephthalate recycled from postconsumer soft-drink bottles, J. Appl. Polym. Sci., No. 80, 943-948.
- [3] Wang H., Liu Y., Li Z., Zhang X., Zhang S. (2009). Glycolysis of PET catalyzed by ionic liquids, European Polymer Journal, No. 45. 1535-1544.
- [4] Bustos Torres K. A., Sánchez Anguiano M. G. (2009). Tesis: "Influencia de temperatura y concentración de glicol en la degradación de PET con N,N'-bis(2-aminobencil)-1,2-diaminoetanolzinc (II) como catalizador". Facultad de Ciencias Químicas, UANL, México.
- [5] Sánchez Anguiano M. G., Rosales Jasso A., Maldonado Textle H. (2011). "Estudio de catalizadores en la degradación de PET reciclado", *Ciencias UANL*, Vol. XIV, No. 1.
- [6] Toselli M. M. (1996). "Chemical recycling of PET", *Polymer Recycling*, Vol.2, No.1, 27-33.
- [7] Chen Ch. H., Chen Ch. Y., Lo Y. W., Mao Ch. F., Liao W. T. (2001). "Studies of glycolysis of poly(ethylene terephthalate) recycled from postconsumer soft-drink bottles II. Factorial experimental design, J. Appl. Polym. Sci., No.80. 1052-1057.

Factibilidad de recuperación de plata, cobre y oro por biolixiviación en residuos electrónicos

¹Nayely Mendoza Muñoz, ²Perla Xochitl Sotelo Navarro, ³Margarita Beltrán Villavicencio, ⁴Juan Carlos Alvarez Zeferino, ⁵Dulce Yolotzin Medina Vázquez

¹Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. Departamento de Energía. Área de Tecnologías Sustentables. Av. San Pablo 180, México, DF. 02200 México.23 correo:al210331861@azc.uam.mx. ^{2,3,4,5} Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco.

Resumen

En los últimos años la generación de aparatos electrónicos ha aumentado en gran medida, y al ser desechados generalmente no son adecuadamente reciclados, lo que implica un problema de contaminación. La biolixiviación es una técnica que tiene campo de aplicación en el tratamiento de residuos, ya que se puede utilizar para recuperar metales de valor económico, de equipos que llegaron al final de su vida útil. En este proyecto se estudió la factibilidad de recuperación de plata, cobre y oro por biolixiviación de residuos electrónicos procedentes de los circuitos impresos de computadoras desechadas. La biolixiviación se llevó a cabo con la cepa *Pseudomona chlororaphis* para evaluar la eficiencia de recuperación de los metales. Además, se siguió la cinética microbiana para determinar la tendencia de crecimiento. Se evaluó el desempeño de la bacteria a dos temperaturas (28°C y ambiente), se tomaron muestras del lixiviado cada cinco días para determinar la concentración de los metales presentes en el mismo. Se evaluó la eficiencia de recuperación y los mejores resultados se obtuvieron a 28 °C: 12.2% para Au, 0.91% para Cu y la plata no fue detectada; mientras que a temperatura ambiente las eficiencias fueron de 2.91% para Au y 0.20% para Cu.

Palabras Clave: *Bacteria, Metales, Pseudomona chlororaphis*

1. Introducción

Entre los residuos electrónicos generados en México se encuentran las computadoras personales, cuya generación para 2006 fue de 47 500 toneladas. La producción global de aparatos electrónicos y en particular de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), enfrenta la mayor expansión industrial de la historia en América Latina; se estima que se vendieron 230 millones de computadoras y 1 000 millones de teléfonos móviles en todo el mundo, lo que corresponde a una generación de 5 848 000 toneladas de residuos electrónicos en el 2006 [1]. Como consecuencia, los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), o residuos-e, constituyen los componentes de desechos de más rápido crecimiento. Según la definición de la Organización para el Desarrollo Económico (OCDE), se considera residuo-e a “todo aparato que utiliza un suministro de energía eléctrica y que ha llegado al fin de su vida útil” [1].

La proporción de metales preciosos presentes en los residuos electrónicos (RE) es considerable, se estima que en los 230 millones de computadoras y los 1 000 millones de teléfonos móviles vendidos en América Latina en 2006, las cantidades de oro y plata representan 70 y 235 t respectivamente, lo que corresponde en cada caso a cerca de 3% de la producción minera mundial de ambos metales [2].

El estudio “Diagnóstico sobre la generación de basura electrónica” elaborado por el Instituto Nacional de Ecología (INE) en 2007, menciona que la producción de aparatos electrónicos constituye el sector de mayor crecimiento de la industria manufacturera en los países desarrollados. Por otro lado, quienes llevan a cabo el desmantelamiento de equipos eléctricos y electrónicos son principalmente las personas de bajos estratos sociales, sin ninguna medida de protección de la salud o seguridad ocupacional. Un estímulo a estas inadecuadas prácticas son los precios de los metales, cada vez mayores, en particular del cobre, níquel, oro, plata, hierro y aluminio. Después de ser extraídos de los equipos, estos metales pueden venderse en el mercado local para luego ser exportados a mercados mundiales [3].

La biolixiviación se presenta en la actualidad como una de las técnicas para el tratamiento de concentrados minerales. Durante la última década se han realizado diversas investigaciones del proceso, esta tecnología consiste en emplear microorganismos para disolver los minerales, liberando un metal de valor presente en el mineral o en un concentrado, que con métodos convencionales sería muy difícil de extraer [4].

El objetivo de este proyecto fue la evaluación de la recuperación de oro, plata y cobre de circuitos impresos de computadoras por biolixiviación con la bacteria *Pseudomona chlororaphis*.

2. Metodología

Este proyecto consistió en las siguientes etapas: 1. Obtención de residuos electrónicos (circuitos impresos de computadora), 2. Determinación de la concentración de Ag, Cu y Au en los residuos por los métodos de digestión ácida y espectroscopia, 3. Crecimiento de la cepa *Pseudomona chlororaphis*, 4. Proceso de biolixiviación a dos diferentes temperaturas (28 °C y ambiente) y 5. Evaluación de la eficiencia de recuperación de Ag, Cu y Au de los residuos electrónicos.

2.1 Obtención de residuos electrónicos

Los circuitos impresos se obtuvieron de computadoras desechadas en la unidad (UAM-A), a través del programa del “Reciclatrón” que consistió en acopiar aparatos eléctricos y electrónicos que llegaron al final de su vida útil, se extrajo el procesador y se obtuvo la parte metálica. La separación metal-polímero se hizo manual. Se realizó una clasificación para obtener una muestra de tamaño de partícula menor a 20 mallas (0.9 mm) como se muestra en la Figura 1.

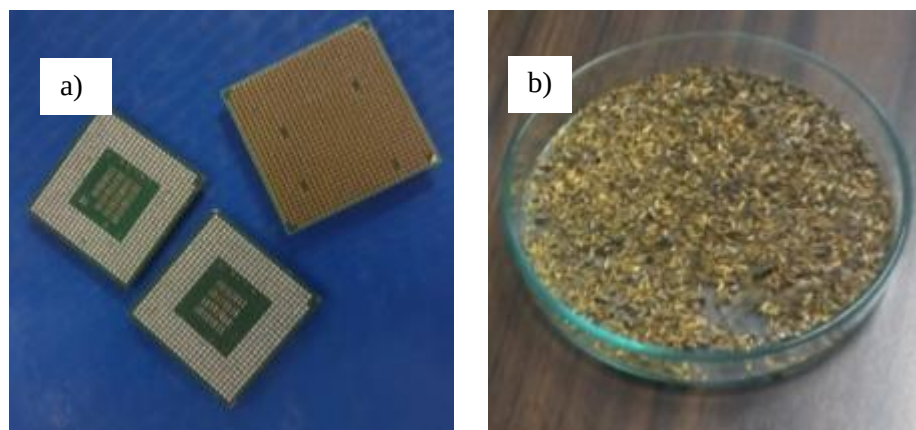


Figura 1. a) Muestra del procesador extraído del circuito impreso. b) Muestra de pines extraídos de los procesadores

2.2 Determinación de la concentración de Ag, Cu y Au en los residuos electrónicos

En la literatura se reportan con buenos resultados dos métodos aquí propuestos para determinar la concentración de metales, en particular para el Cu [5].

2.2.1 Métodos de digestión

No existe un método específico de digestión para la determinación de metales provenientes de residuos electrónicos. Sólo se disponen de normas para digestiones para suelos y sedimentos, que se tomaron como referencia para establecer el procedimiento.

Método A. La primera técnica de digestión se realizó con base en el Método EPA 3050B [6] que consiste en pesar 0.5 g de muestra, colocarla en un matraz Erlenmeyer de 25 mL, y agregar ácido nítrico y ácido

clorhídrico concentrados (10:10), la mezcla se coloca en una parrilla de agitación con calentamiento a una temperatura de 70-80 °C, con reflujo parcial por media hora, dejando escapar los vapores producidos cada cinco minutos, llevar la solución casi a desecación. La digestión se realiza dos veces.

Método B. La segunda técnica de digestión se llevó a cabo con el método propuesto por Zacarías [5]. Se aplicó el mismo procedimiento que en el método A, pero sólo con ácido nítrico (20 mL), repitiendo el proceso dos veces.

De las soluciones obtenidas, se determinaron las concentraciones de metales en el equipo de absorción atómica (AA) y así poder comparar con los valores que se obtuvieron en los lixiviados. Los límites de detección son (mg/L): 0.02-20 para Ag, 0.03-2000 para Cu y 0.1-60 para Au, se trabajó a diferentes longitudes de ondas para cada metal (nm): 328.1, 324.7 y 242.2 respectivamente. Las determinaciones se realizaron en el equipo de absorción atómica Agilent Technologies, Modelo Agilent 50/55.

2.3. Método de determinación de metales por microscopía electrónica de barrido

Se analizó una muestra de residuos electrónicos por la técnica de análisis químico EDS (Energy Dispersed X ray) dentro de la técnica de MEB (microscopía electrónica de barrido). El objetivo de esta determinación fue tener tanto el análisis morfológico como el análisis químico por MEB para comparar la composición de metales con la AA.

2.4. Crecimiento de la cepa (*Pseudomona chlororaphis*)

La bacteria fue adquirida en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV-IPN) en la Unidad Politécnica de Zacatenco, D.F., con la certificación ATCC 9446, se mantuvo de acuerdo a la hoja técnica: en tubos de agar nutritivo a 28°C [7]. Para evaluar el crecimiento de la bacteria se utilizó la técnica de generación de biomasa, que consiste en la determinación del aumento de biomasa con respecto al tiempo (se tomaron alícuotas a diferentes tiempos y se determinó la masa en base seca).

2.5. Proceso de biolixiviación a dos diferentes temperaturas

Se evaluó el proceso de biolixiviación de la bacteria *Pseudomona chlororaphis* a dos temperaturas (28 °C y ambiente), se realizaron 4 muestreos en tiempos diferentes 0, 5, 10 y 15 días, cada muestra se realizó por quintuplicado y se evaluó la concentración de los 3 metales.

De esta forma, se realizaron 120 análisis:

2 temperaturas x 5 réplicas x 4 tiempos de muestreo x 3 metales

2.6. Evaluación de la eficiencia de recuperación de Ag, Cu y Au de los residuos electrónicos

Para obtener la concentración en cada tiempo de muestreo se llevó a cabo el análisis por absorción atómica en el lixiviado obtenido.

La eficiencia se obtuvo del cociente de la concentración obtenida en el lixiviado entre el valor de la concentración inicial en los residuos electrónicos medidos en el equipo de AA.

$$\eta = \frac{\text{concentración del metal en el lixiviado}}{\text{concentración del metal en el residuo}} * 100 \quad (1)$$

3. Resultados y discusión

Se comparan los resultados de la determinación de la concentración de los metales en los RE con ambos métodos de evaluación y los valores obtenidos de recuperación por biolixiviación a las dos temperaturas ensayadas.

3.1 Determinación de la concentración de Ag, Cu y Au en los residuos electrónicos

Los resultados de ambos métodos son comparados y reportados en la Tabla 1 y 2.

Tabla1. Concentración de metales obtenidos por absorción atómica

Metal	Concentración
	mg metal/kg de residuo
Au	738.75±82.96
Ag	9.87±0.09
Cu	124 459.68±3 447.53

Tabla2. Concentración de metales reportados por microscopía electrónica de barrido (MEB)

Metal	Concentración (mg metal/kg de residuo)
Au	477 800
Ag	N.D.
Cu	140 500

Se puede apreciar en las Tablas 1 y 2 que la concentración de la plata presenta valores bajos o no detectables en los residuos, motivo por el cual no se detectó durante el proceso de biolixiviación. El cobre presenta resultados comparables, sin embargo, el oro presenta valores muy diferentes, ya que la técnica de digestión utilizada no es la ideal para solubilizar el oro.

3.1 Crecimiento de las cepas (*Pseudomona chlororaphis*)

El crecimiento de la bacteria se evaluó mediante la técnica de generación de biomasa, en la Figura 2 se presenta los resultados de la cinética de la bacteria utilizada. Se observa que el comportamiento presentó una curva característica de crecimiento microbiano, que por lo general presenta 4 fases, la fase de latencia, exponencial, estacionaria y por último decaimiento [8].

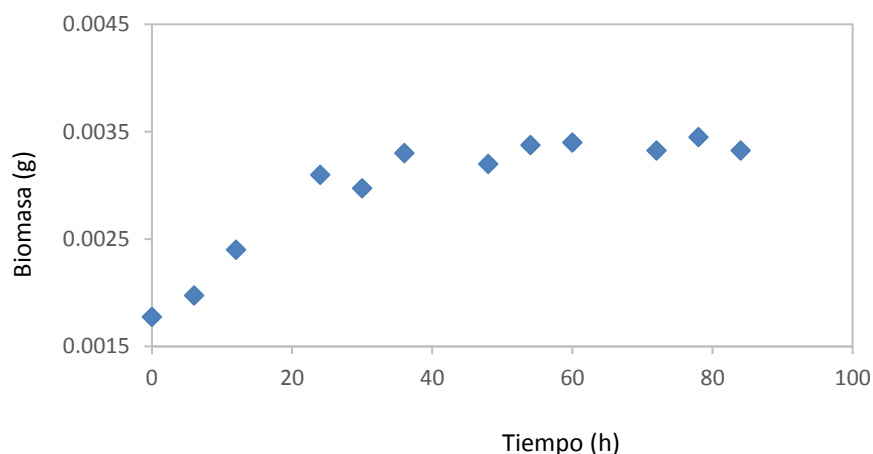


Figura 2. Generación de biomasa de *Pseudomona chlororaphis* respecto al tiempo ($\sigma < 0.001$).

3.2 Proceso de biolixiviación

Una vez que inició el proceso de biolixiviación, se tomaron muestras a diferentes tiempos, las concentraciones obtenidas de los metales al finalizar el proceso de biolixiviación se muestran en la Tabla 4, se presentan sólo 2 tiempos por la relevancia de los resultados.

Tabla 4. Concentración de los metales para el biolixiviado de *Pseudomona chlororaphis* a diferentes temperaturas (n=5, $\sigma < 0.05$)

Bacteria	Día	Metal	Concentración (mg metal/kg de residuo)	
			Ambiente	28°C
<i>Pseudomona chlororaphis</i>	10	Cu	248.95	564.33
		Au	17.12	21.27
	15	Cu	129.05	569.33
		Au	10.78	45.09

Se tiene una mayor concentración de los metales en el experimento a 28 °C, esto puede ser debido a que la temperatura es un factor importante en los procesos biológicos, siendo que en ocasiones la diferencia entre éstas, condiciona el tipo de enzimas sintetizadas. Además, las fluctuaciones de temperatura que se tuvieron en el proceso desarrollado a temperatura ambiente indudablemente afectó la actividad del microorganismo.

La recuperación de los metales está relacionada con la concentración que se obtuvo en los lixiviados y la plata no fue detectada durante el proceso. En las Figuras 3 (para el Cu) y 4 (para el Au) se observa como varía la concentración del metal en el lixiviado (mg/L) dependiendo de la temperatura.

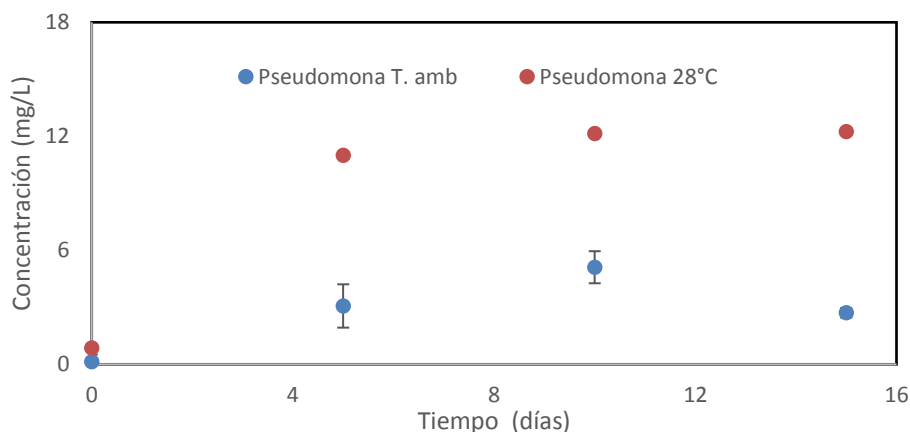


Figura 3. Concentración de Cu en el biolixiviado con *Pseudomona chlororaphis*

En la Figura 3 se observa un mayor incremento de la concentración, para el Cu a 28°C, con respecto a la concentración obtenida a temperatura ambiente, se presenta un aumento gradual con respecto a los días de muestreo.

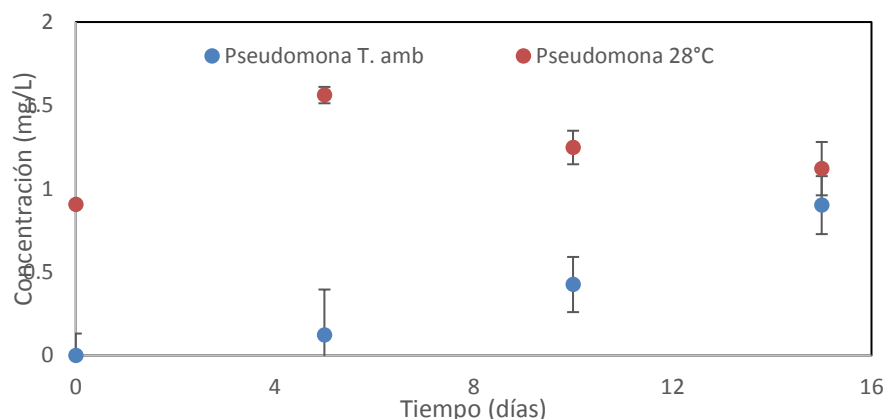


Figura 4. Concentración de Au en el biolixiviado con *Pseudomona chlororaphis*

En la Figura 4, la concentración de Au es mayor a 28 °C, esta bacteria puede desarrollarse en un intervalo de temperatura desde los 8°C hasta los 46 °C, dentro de este rango, puede variar el valor máximo de temperatura en la cual se desarrolla.

En la Tabla 5 se muestran los resultados de recuperación acumulada de los metales a los 10 y 15 días. Gayathri y Yen-Peng (2015), obtienen resultados comparables con la misma bacteria, con un 11.3% para la recuperación del Au, donde realizaron los experimentos modificando el pH a un valor de 10, se cree que esto benefició a la recuperación de los metales [9]. Si se compara con el presente trabajo hay diferencias en las condiciones experimentales, pero con recuperaciones del metal semejantes. También se ha demostrado que la combinación de microorganismos ayuda a una mayor recuperación de los metales [9]. Ruan y colaboradores, 2014, aplicaron esta misma bacteria, a partículas de circuitos impresos de computadoras logrando una recuperación de metales en las disoluciones de 8.2% para oro, 12.1% para plata y 52.3% para cobre [10]. Cada condición de experimentación de diferentes trabajos demuestra tasas de recuperación de metales variables que dependen de las condiciones de operación en cada caso particular.

Tabla 5. Resultados de la recuperación obtenidos la bacteria a las condiciones planteadas

Metal	% Recuperación			
	Día 10		Día 15	
	28°C	Ambiente.	28°C	Ambiente.
Au	5.75	4.63	12.20	2.91
Cu	0.9	0.4	0.91	0.20

Con relación al porcentaje de recuperación, si se aplica a los resultados obtenidos por la MEB se pueden estimar los gramos de metal que se recuperarían por kilogramo de residuo. Para obtener un estimado, el MEB reporta 477 800 mg Au/kg de RE, tomando el valor de recuperación de 12.2%, entonces por cada kg de residuo se pueden recuperar hasta 58.29 g de Au.

5. Conclusión

La *Pseudomona chlororaphis* presentó potencial para biolixiviar principalmente oro de residuos electrónicos. A los 15 días, se logró una mayor extracción a 28 °C que a temperatura ambiente. Respecto al porcentaje de recuperación a 15 días y a 28 °C se logró hasta 12.2 % para oro y 0.91 % para cobre, mientras que a temperatura ambiente: 2.91% para oro y 0.20 % para cobre.

Con respecto a los métodos utilizados para la determinación de la concentración de metales en los residuos electrónicos, se tienen cantidades tan altas como 477.8 g de Au por kg de residuo, 140.5 g de Cu por kg de

residuo, para el caso de plata los niveles son tan bajos que no fueron detectados por el equipo. Con la técnica de digestión ácida no se detectaron cantidades comparables con el MEB para el caso del Au, por lo que es recomendable ensayar métodos para la detección de este metal.

7. Referencias bibliográficas

- [1]. Silva, U. (2010). Los residuos electrónicos: Un desafío para la Sociedad del Conocimiento en América Latina y el Caribe. Editores: UNESCO Montevideo, p.p. 31.
- [2]. Silva, U. (2009). Gestión de residuos electrónicos en América Latina. Chile. Ediciones sur, p.p 51, 52, 25,30.
- [3]. SEMARNAT. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Reporte técnico.
- [4]. Guzmán X., Lagos M. C., (2009). Biolixiviación: desarrollo actual y sus expectativas, Comisión Chilena del cobre, Chile.
- [5]. Zacarías S. M., (2009). Fitoextracción *in situ* y *ex situ* de un suelo contaminado con Ni, As, y Cu, p.p 81. Tesis de Maestría en ciencias e Ingeniería Ambientales. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. México.
- [6]. EPA, Environmental Protection Agency, 3050B. (1996). Acid digestion of sediments, sludges, and soils con clave SW-846.
- [7]. Castañeda B. M. T. (2007). Manual de laboratorio de Microbiología Aplicada, México, UAM-A.
- [8]. Madigan M., Martinko J., Parker J., (2003). Brock Biología de los microorganismos, Editorial Pearson, 10ª edición, p.p 145-151.
- [9]. Gayathri N., Yen-Peng T., (2015). Gold biorecovery from e-waste: An improved strategy through spent medium leaching with pH modification. Journal of Chemosphere, Vol. 136, 232–238.
- [10]. Ruan J., Zhu X., Qian Y., Hu J., (2014). A new strain for recovering precious metals from waste printed circuit boards dissolving gold, silver, and copper from the metallic particles of crushed waste printed circuit boards (PCBs). Waste Manag. May. 34 (5):901-7. Doi: 10.1016/j.wasman.2014.02.014. Epub 2014 Mar 11.

Purificación de filtros de cigarro para su reutilización

¹Ricardo Gutiérrez Mercado, ²Verónica Ailee Bernal Torres.

Universidad Politécnica del Valle de Toluca, Carretera Toluca-Almoloya de Juárez Km. 5.6 Santiaguito Tlalcilcalci, Almoloya de Juárez, Estado de México. 2 76 60 60. rgutime@hotmail.com

Resumen

Hoy en día un problema de salud pública y de contaminación es el consumo de cigarros, ello genera al por mayor cantidad de desechos sólidos en forma de colillas y/o filtros.

Una alternativa para la solución de problemáticas de este tipo es la reutilización; Mas en este caso específico por el tipo de desecho solido que se está tratando es necesario que se realice la eliminación de la mayor parte componentes químicos posibles. Para ello se propone realizar la purificación de los filtros, esto se realizó probando con diversas soluciones, a las que se sometieron los filtros, la soluciones contienen solventes, la solución que mejores resultados arrojó fue la solución compuesta por agua y alcohol en proporciones iguales. Tras un duplicado en la solución y un tercero en agua únicamente, se encontró que gran parte de los químicos son removidos de los filtros de cigarro con esta técnica, y quedan disponibles para su reutilización futura.

Palabras Clave: *Colilla de cigarro, contaminación, filtros, purificación, reutilización.*

1. Introducción

Actualmente existe un problema de contaminación, el cual es atribuido a diferentes causas. Una de ellas es la presencia de químicos en el aire, suelo, subsuelo y agua. La presencia de éstos químicos es en gran cantidad provocada por la combustión generada en el consumo del cigarro y el desecho de la colilla contenida en el cigarro.

Las colillas de cigarrillo y otros desechos de productos del tabaco (TPW) son los elementos más comunes recogidos en la limpieza de zonas urbanas y de playa en todo el mundo. TPW contiene todas las toxinas, la nicotina y carcinógenos que se encuentran en los productos del tabaco, junto con el filtro no biodegradable de plástico unido a casi todos los cigarrillos vendidos en los Estados Unidos y en la mayoría de países de todo el mundo. [1]

Se dice que el cigarro en combustión produce dos tipos de corriente; La corriente primaria o principal que se produce durante las caladas del fumador y la corriente secundaria o lateral está formada por el humo desprendido entre las caladas, ésta contamina de forma importante el ambiente ya que su contenido en productos tóxicos es mucho mayor que en la corriente primaria, al ser fruto de una combustión más incompleta y a menor temperatura [2].

Por otro lado, el desecho de la colilla no se realiza de manera consiente ya que la mayoría tiradas al piso y, cuando llueve, son arrastradas a las alcantarillas y a las fuentes de agua que luego consumimos todos.

Ríos, lagos y mares son contaminados con colillas de cigarrillos que los peces y animales confunden con comida y tragan provocando muchas veces su muerte y alterando el ciclo ecológico. Un informe reciente de la Ocean Conservancy muestra que los cigarrillos y las colillas de cigarrillos son la principal causa de basura en los océanos y playas. Esta ONG trabaja desde hace casi 40 años en la conservación del Océano y las playas de todo el mundo.

2. Metodología

2.1 Materiales

40 colillas de cigarro
10 vasos de precipitado de 250 mL
2 probetas de 100 mL
Tijeras
Guantes de vinilo
Bata
Cubrebocas o mascarilla

2.2 Reactivos

100 mL de alcohol etílico de 96°
100 mL de alcohol etílico absoluto
250 mL de agua de garrafón
50 mL de alcohol isopropílico
50 mL de acetona grado analítico

2.3 Recolección

Se recolectaron las colillas de cigarro provenientes de diferentes lugares como parques, oficinas, hospitales, etc. Para posteriormente ser sometidas a tratamientos para su purificación.

2.4 Pre-tratamiento

Después de hacer la recolección antes mencionada, se les dio un pre-tratamiento empleando un cepillo dental para quitar el exceso de ceniza, tierra, arena u otro componente ajeno a la colilla. Se removió el papel que recubre al filtro y se cepillaron nuevamente quitando cualquier residuo que pudiera tener aún.

2.5 Preparación de soluciones

Se prepararon soluciones que contenían:

100 mL de alcohol etílico de 96° y 100 mL de agua de garrafón (solución 1).
100 mL de alcohol etílico absoluto (solución 2).
100 mL de agua de garrafón (solución 3).
50 mL de alcohol isopropílico (solución 4).
50 mL de acetona grado analítico y 50 mL de agua de garrafón (solución 5).

2.6 Tratamiento

Se retiró el embolo de una jeringa de 20 mL y se ingresaron de cinco a ocho colillas previamente tratadas, se adicionaron 10.0 mL de la solución 1 y se agitó manualmente durante un minuto para el primer lavado y se desechó el contenido por medio de la boquilla.

Se tomaron de cinco a ocho colillas pre-tratadas sin solución y se agregó la solución 2 realizando la misma acción que en el primer lavado, se realizó el mismo procedimiento para cada una de las soluciones sin repetir las colillas para dos o más tratamientos.

3. Resultados y Discusión

Es posible realizar la purificación de colillas por técnicas a nivel laboratorio, las cuales requieren de soluciones que implican solventes, los cuales generalmente se encuentran disponibles de manera común en laboratorios y su disposición permite que los procesos sean realizados con facilidad. Se pudo comprobar que los solventes utilizados son capaces de remover diversos de los químicos, aun no caracterizados, que contienen los filtros del cigarro, ello es comprobable al observar que los resultados de cada uno de los lavados torna el líquido de otro color, así como cambiando el grado de color que tiene el filtro antes de ser sometido a la solución. Podemos considerar que esta deducción es confiable ya que al realizar los lavados 2 y 3 cambian de tonalidad con respecto al anterior (Figura 1), ello demuestra que está existiendo una

remoción de múltiples químicos en cada fase del lavado. Este fenómeno se presentó en todas los filtros que fueron sometidos al tratamiento establecido.

Observando los resultados obtenidos, se determinó que el mejor tratamiento para la purificación de las colillas era la solución 1, ya que mostraba de manera notable que funcionaba eficazmente para realizar un arrastre de los compuestos químicos presentes, dicha sustancia subsecuentada de un tratamiento con las soluciones 2 y 3 para las mismas colillas, obteniendo un líquido casi transparente, el cual reflejaba que no estaba existiendo un arrastre de los químicos que se encuentran dentro de los filtros de los cigarros. Por otro lado, realizando pruebas con otros solventes se determinó que no era viable el tratamiento con acetona pura, ya que al ser expuesto el filtro este presentaba pérdida de su forma y estructura inicial creando productos no deseados para la reutilización o inclusive eliminando la muestra del filtro.

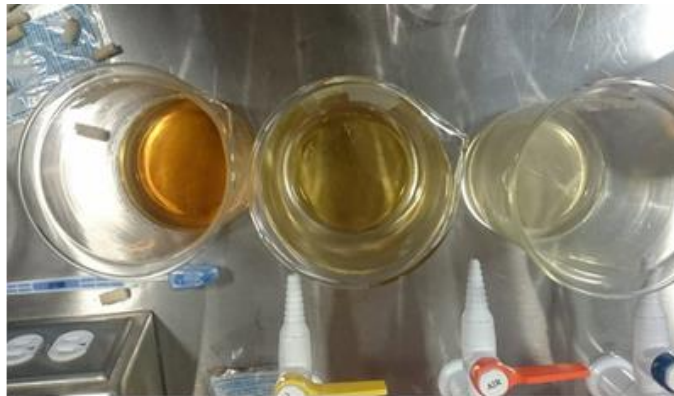


Figura. 1. Cambios de tonalidad en los residuos del purificado de los filtros

4. Conclusiones

Una vez llevados a cabo los lavados establecidos y observados los resultados obtenidos, concluimos que los filtros presentes en la colilla de cigarro presentan abundante materia orgánica por lo que es necesario limpiarlos mediante sucesivos lavados antes de ser reutilizados. Así mismo podemos decir que las colillas deben ser desechadas como residuo peligroso ya que por la gran cantidad de químicos presentes en los filtros dañan el lugar en donde los tiran y posteriormente llegan al mar, causando contaminación en el agua, suelo y subsuelo provocando la disminución de especies presentes en estos medios. Además con la investigación presente logramos comprobar que son reusables las colillas de cigarro y que las técnicas a seguir son relativamente económicas, prácticas y con un tiempo de procesamiento relativamente rápido. También se recomienda el cumplir con el equipo de protección ya que los olores que los filtros despiden son muy penetrantes y nocivos para la salud.

El aprovechamiento de los filtros se puede ver en opciones variedad, actualmente se encuentra en estudio para ser aplicada como contenedores para tintas vegetales.

Agradecimientos

M. en C. Jenny Nancy Gómez Sandoval
M. en C. Gisela I. Hernández Contreras

Referencias Bibliográficas

- [1] Novotny T. E., Slaughter E. (2014) Tobacco Product Waste: An Environmental Approach to Reduce Tobacco Consumption DOI 10.1007/s40572-014-0016-x.
- [2] Calvo, F. (2011). EL TABACO DE PRODCUTO DESEADO A PRODUCTO MALDITO. Academia de ciencias e ingenierías de Lanzarote.

Valorización de cáscaras de naranja y residuos de café mediante la extracción de materias primas y materiales adsorbentes

Irma Robles Gutiérrez, Ana Karen Tovar Arce, Guillermo Zoé Velasco Álvarez

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C. Parque Tecnológico Querétaro s/n Sanfandila, Pedro Escobedo, Qro. C.P. 76703, Tel. +52 (442) 2-11-60-00. irobles@cideteq.mx

Resumen

Los residuos de tipo agroindustrial poseen una composición química que es generalmente desaprovechada. Estos residuos pueden ocasionar contaminación al medio ambiente asociada a la formación de lixiviados, y desarrollo de patógenos. Si por el contrario, estos residuos se aprovechan, es posible reducir el riesgo de contaminación, además de que se obtienen beneficios económicos. Este estudio se enfocó a la valorización de residuos de café y cáscaras de naranja mediante la extracción de materias primas y preparación de materiales adsorbentes.

Se obtuvo una mayor eficiencia de extracción de aceite de residuos de café, con una temperatura de secado de 105 °C, relación solvente: muestra 10:1, etanol como solvente, y 60 min como tiempo de extracción; obteniéndose una recuperación de 44.1 mg/L de aceite. Una caracterización mediante EDS sugiere que esta material es también una buena alternativa para la preparación de materiales adsorbentes.

Con respecto a la extracción de pectina en cáscaras de naranja, se obtuvo una mejor eficiencia utilizando una solución de H_3PO_4 a pH 1.6. Por otro lado, las cáscaras de naranja fueron también utilizadas para la elaboración de materiales adsorbentes por cuatro métodos distintos, siendo el método 3 el que promovió una mayor capacidad de adsorción de contaminante modelo naranja de metilo. En este método la cáscara fue activada químicamente con H_3PO_4 (0.1 M), se sugiere que la des-polimerización parcial de la hemicelulosa, celulosa y lignina es la razón por la que se logra eficientar la adsorción mediante la presencia de grupos carboxilo superficiales.

Palabras Clave: *Café, cáscaras de naranja, residuos, valorización.*

1. Introducción

La valorización de residuos constituye uno de los campos de investigación en mayor desarrollo por ser una de las alternativas más apropiadas para las tecnologías sustentables. La rentabilidad de estos procesos surge de la capacidad para transformar a los residuos en insumos o nuevos materiales. Lo anterior conlleva a un ahorro económico y energético, y en consecuencia se promueve el cuidado del medio ambiente [1].

Específicamente hablando de los residuos agroindustriales son materiales en estado sólidos y líquidos [2], resultantes de la producción, preparación y consumo de alimentos. Para estos residuos, el hecho de plantear su eliminación como disposición final representa una pérdida de productos de valor [3]. La necesidad disminuir la cantidad de residuos generados y encontrar una nueva fuente renovable de recursos, ha dado lugar a una nueva y prometedora línea de investigación: la utilización de los residuos de la cadena alimentaria como una fuente renovable de materia prima [4].

En general las características de estos residuos son muy variadas, dependen tanto de la materia prima como del proceso que los generó. No obstante, comparten una característica principal que es el contenido de materia orgánica, constituida por celulosa, lignina, hemicelulosa, aceites esenciales, flavonoides, carotenoides y pectina, entre otros [2, 4].

Dos residuos de gran abundancia mundial son los residuos de café y las cáscaras de naranja, cuya composición química se muestra en las tablas 1 y 2. Estos residuos han sido igualmente desaprovechados,

y pueden ocasionar problemas de contaminación si al mezclarse con otros residuos generan lixiviados que alteran el equilibrio de suelos y cuerpos de agua.

Una alternativa para valorizar los residuos orgánicos agroindustriales es la extracción de las sustancias aprovechables, o la preparación de materiales para distintos fines. Ya que con la valorización, además de recuperar el valor material del residuo, también se reduce el impacto ambiental que estos pueden causar debido a su manejo inadecuado [7].

Uno de los principales componentes de la naranja que pueden ser aprovechados es la pectina, una sustancia que juega un papel fundamental en el procesamiento de los alimentos, es utilizada como aditivo, fuente de fibra dietética, e incluso es utilizada como ingrediente en preparaciones farmacéuticas [8-10].

Por otra parte, uno de los componentes de mayor abundancia en los residuos de los residuos de café es el aceite, que puede ser utilizado para aplicaciones farmacéuticas, e incluso puede ser utilizado para la elaboración de biodiesel mediante un proceso de transesterificación [11, 12].

Ambos residuos poseen la capacidad de ser utilizados para la elaboración de material adsorbente debido a su alta composición de carbono. El uso de componentes biológicos naturales para elaborar materiales de carbón ha sido el enfoque de atención de diversos estudios. Cabe resaltar que la elaboración de materiales de carbón de alta calidad a partir de residuos agroindustriales, abre un camino efectivo para la conversión de estos residuos en productos de alto valor añadido [13, 15].

Tabla 1. Composición química del residuo de café [5, 6]

Parámetro	Valor (%)
Celulosa	8.6
Hemicelulosa	36.7
Proteína	13.6
Aceite	20
Polifenoles	1.5
Azúcares	8.5
Sustancias pecticas	0.01
Lignina	0.05
Tanino	0.02
Ácido clorogénico	2.3
Cafeína	0.02

Tabla 2. Composición química de las cáscaras de naranja [2]

Parámetro	Valor (%)
Sólidos Solubles (°Brix)	7.1
pH	3.93
Total de acidez	0.29
Índice de formol	34
Humedad (%)	85.9
*Grasa (%)	1.55
*Ceniza (%)	3.29
*Proteína (%)	6.16
*Carbohidratos (%)	89.0
Fibra Soluble (%)	
Azúcares Neutrales	3.8
Ácido Uronico	7.1
Lignina	7.1
*Pectina (%)	17

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es brindar alternativas de valorización para residuos de café y cáscaras de naranja, mediante la extracción de materias primas y elaboración de materiales adsorbentes.

2. Metodología/Desarrollo

2.1 Pretratamiento de las muestras

Se utilizaron residuos de cáscaras de naranja y residuos de café gastado de la marca *Garat*. Las cáscaras de naranja se sometieron a un proceso de lavado, secado y triturado. El residuo de café se secó a temperatura ambiente (25 °C) por 24 horas, se obtuvo una muestra compuesta, la cual se homogenizó mediante el método de cuarteo de acuerdo a NMX-AA-015-1985 [16]. El proceso de secado se realizó en un horno de convección forzada de la marca BINDER.

Los residuos de café y de cáscaras de naranja se caracterizaron mediante Microscopía Electrónica de barrido (SEM).

Una vez realizado el pretratamiento y caracterización, estos residuos se sometieron a un proceso de extracción de materias primas, y por otro lado se prepararon materiales adsorbentes, cuya capacidad adsorbente fue evaluada utilizando un colorante como contaminante modelo.

2.2 Metodología para la extracción de materias primas

Las cáscaras de naranja se sometieron inicialmente a un proceso de lavado, y posteriormente mediante hidrólisis ácida se llevó a cabo la extracción de, utilizando soluciones de HCl y H₃PO₄, en un pH de 1.6.

Por su parte, la extracción de aceite de residuos de café se llevó a cabo mediante un diseño de experimentos factorial 2^k [17], con factores: secado (A), solvente (B), Relación solvente: muestra (C) y Tiempo de extracción (D). El volumen de aceite recuperado, en mg/L, se consideró como variable de respuesta. Los niveles para cada factor fueron: 50 y 105 °C (A), hexano y etanol (B), 10:1 y 12:1 (C), 30 y 60 min (D). Los experimentos se realizaron por duplicado y de manera aleatoria. La recuperación de aceite se realizó en un sistema de extracción Soxhlet de acuerdo a la metodología establecida en la Norma NMX-AA-005-SCFI-2013 [18]. Utilizando los solventes Hexano (J.T. Baker, 95 %) y Etanol (J.T. Baker, 96 %). Se determinó la cantidad aceite recuperable para determinar las condiciones de extracción de aceite.

2.3 Metodología para la preparación de materiales adsorbentes

Se prepararon cuatro materiales adsorbentes por cuatro métodos distintos, se evaluó el tiempo de equilibrio de adsorción utilizando el colorante naranja de metilo, y se evaluó la capacidad adsorbente. Los métodos de preparación del material adsorbente se describen a continuación:

Método 1: La cáscara se sometió a un proceso de lavado, secado, triturado y tamizado.

Método 2: activación química con NaOH (0.2 M). Una vez seca la muestra, se ajustó a pH 5. Finalmente la muestra se secó en estufa por dos horas a 40° C.

Método 3: La muestra se sometió a una pre-incineración en mufla a una temperatura de 420° C. Posteriormente se activó con H₃PO₄ (0.1 M). Finalmente las muestras se filtraron y secaron a una temperatura de 600° C.

Método 4: La muestra se sometió a una pre-incineración en mufla a una temperatura de 420° C. Posteriormente se activó con H₃PO₄ (0.6 M). Finalmente las muestras se filtraron y secaron a una temperatura de 600° C.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de las muestras de residuo de café y cáscaras de naranja

Las muestras pre-tratadas de residuos de café y cáscaras de naranja se caracterizaron mediante SEM, los resultados de esta caracterización se muestra en la Figura 1, donde se aprecia que son muestras con una área superficial que puede ser aprovechada para procesos de remoción de contaminantes en agua.

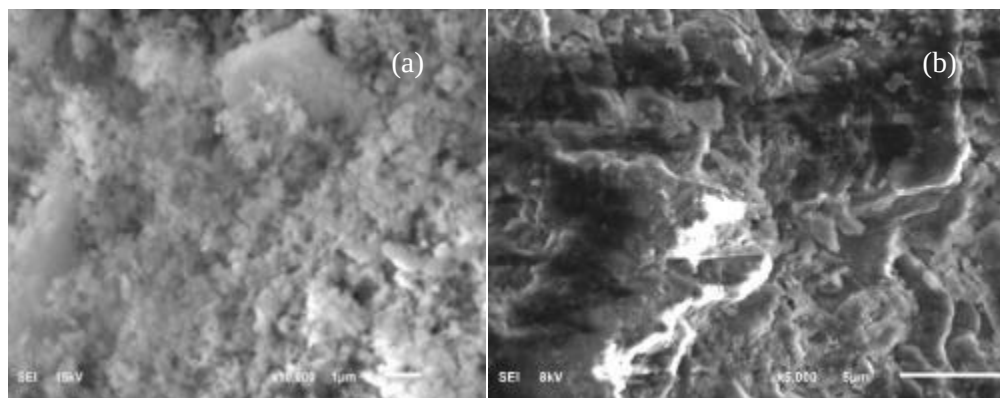


Figura. 1. Micrografías SEM de residuo de café (a), y cáscaras de naranja (b)

3.2. Extracción de materias primas

La extracción de pectina se realizó utilizando dos distintos ácidos, con lo que se evaluó la capacidad de cada uno de ellos para promover una mayor recuperación, los resultados se muestran en la Tabla 3, donde se puede apreciar que el H_3PO_4 promueve una mayor eficiencia de extracción.

Tabla 3. Porcentaje de extracción de pectina usando distintos ácidos

Muestra	HCl	H ₃ PO ₄
	Pectina extraída (%)	Pectina extraída (%)
1	11.68	26.79
2	11.82	27.49
Promedio	11.75 ± 0.07	27.14 ± 0.35

Por otro lado, el proceso de extracción de aceite a partir de un diseño factorial 2^k , permitió conocer las mejores condiciones de extracción, así como una ecuación que modela este proceso. Los resultados de la extracción de aceite se muestran en la Figura 2. Las mejores condiciones de extracción de aceite se obtuvieron con el solvente etanol.

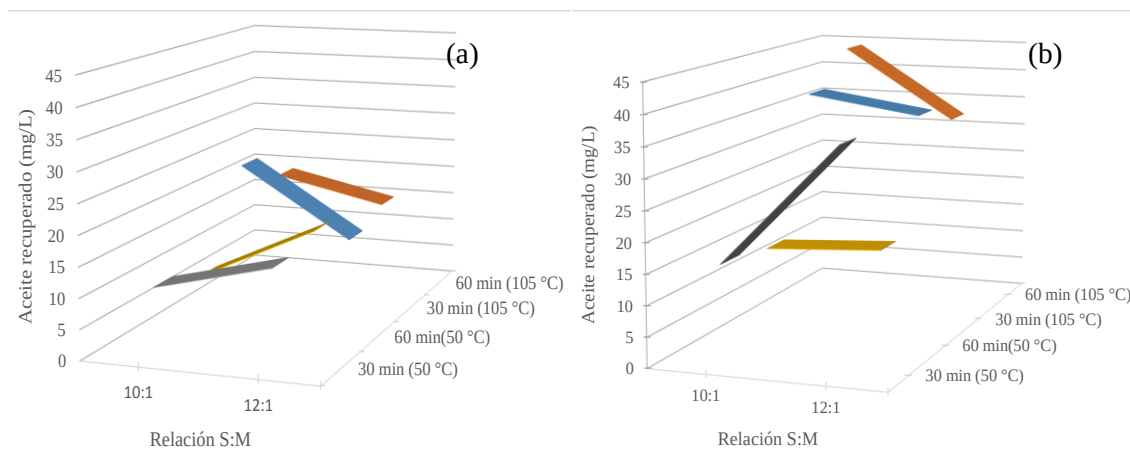


Figura. 2. Rendimiento de extracción de aceite utilizando hexano (a), y etanol (b)

Las mejores condiciones de recuperación de aceite se lograron para: temperatura de secado de 105 °C (durante 5h), relación (S:M) de 10:1, etanol como solvente, y 60 min como tiempo de extracción; para estas condiciones se obtuvo una recuperación de 44.1 mg/L de aceite, además de que se recuperó el 80% del solvente usado.

La predicción del proceso de extracción de aceite se presenta en la ecuación (1). Esta ecuación se obtuvo con el Software estadístico *Minitab 17*.

$$\begin{aligned} \text{Extracción} = & 21.44 + 5.98 A + 6.63 B + 1.02 C - 1.15 D + 3.39 AB - 4.86 AC \\ & + 1.17 AD + 0.76 BC - 0.16 BD - 1.24 CD - 0.62 ABC + 0.85 ABD \\ & + 1.04 ACD - 3.27 BCD + 1.17 ABCD \end{aligned} \quad (1)$$

Estos productos obtenidos, aceite y pectina, presentan un gran valor comercial, mientras que la pectina es un compuesto generalmente utilizado para la elaboración de alimentos debido a sus propiedades aglutinantes; el aceite puede ser usado tal cual en aplicaciones farmacéuticas, o bien para la elaboración de combustibles como biodiesel, lo cual representa una alternativa a los combustibles fósiles.

3.3. Preparación de materiales adsorbentes

Por otro lado, las cáscaras de naranja se utilizaron para la preparación de cuatro materiales adsorbentes, lo que permitió evaluar la capacidad de adsorción de cada uno para el contaminante modelo naranja de metilo. Se determinó que el tiempo de equilibrio de adsorción para el contaminante modelo utilizado fue de 5 horas. En la Figura 3 se presenta la concentración adsorbida de naranja de metilo (mol/g) para los cuatro materiales obtenidos.

Se aprecia en la Figura 3, que los materiales que fueron activados con H_3PO_4 (métodos 3 y 4) presentaron una mayor capacidad de adsorber el contaminante modelo. Cabe resaltar que entre los métodos 3 y 4 no hay una diferencia significativa, por lo que se considera al método 3 como el más eficiente.

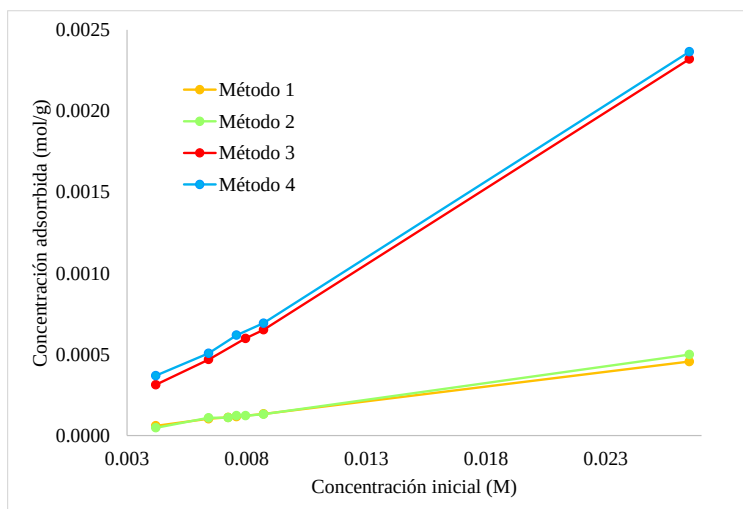


Figura. 3. Concentración adsorbida de naranja de metilo en materiales adsorbentes preparados por métodos distintos

Tabla 4. Identificación de transformaciones que sufre material y que facilitan la adsorción

Método	Activación	Modificación que sufre la cáscara	Sitios Disponibles
1. Secado, triturado y tamizado.	Física	Deshidratación y eliminación de compuestos volátiles.	Huecos intersticiales libres.
2. NaOH	Química	Desmetilación del grupo $-\text{COOCH}_3$ presentes en la pectina y lignina.	Grupos Carboxilos.
3. H_3PO_4 (0.1M)	Química	Des-polimerización parcial de la hemicelulosa, celulosa y lignina.	Grupos Carboxilos.
4. H_3PO_4 (0.6M)	Química	Des-polimerización parcial de la hemicelulosa, celulosa y lignina.	Grupos Carboxilos.

Actualmente no ha sido posible evaluar la capacidad del residuo de café para la preparación de un material adsorbente, sin embargo la caracterización de este residuos mediante Espectroscopía Dispersiva de Rayos X (EDS) permitió identificar principalmente el contenido de carbono que puede ser aprovechado para la elaboración de materiales adsorbentes.

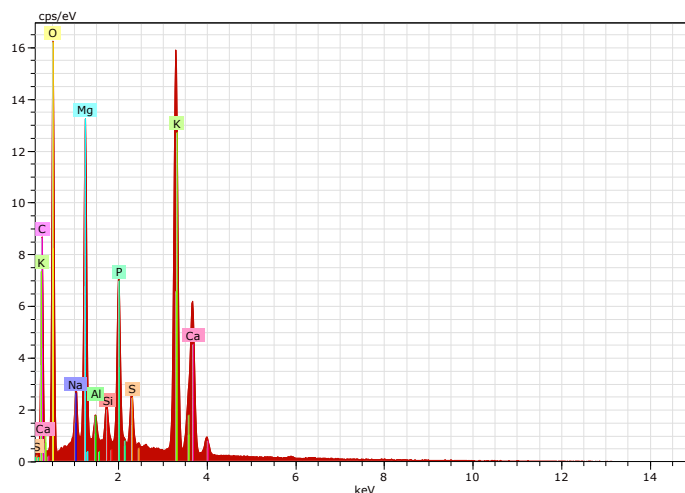


Figura. 4. Determinación semicuantitativa de la composición elemental del residuo de café mediante EDS

4. Conclusiones

Este estudio se enfocó a la valorización de residuos de café y cáscaras de naranja, mediante la extracción de materias primas que son generalmente desaprovechadas, así como la preparación de materiales adsorbentes que pueden ser útiles para el tratamiento de agua.

Las materias primas extraídas fueron pectina y aceite, se logró una mayor eficiencia de extracción de pectina utilizando una solución de H_3PO_4 , mientras que para extraer aceite las mejores condiciones promovieron una extracción de 44 mg/L.

Por otro lado, con respecto a la preparación de un material adsorbente de cáscara de naranja, se observó que el método de preparación 3, correspondiente a una activación con H_3PO_4 (0.1 M), presentó una mayor eficiencia. Con este método, el material fue capaz de adsorber grandes cantidades del contaminante modelo, en comparación con el resto de los métodos de preparación.

Un estudio de caracterización de residuo de café mediante EDS sugiere que éste es también una buena alternativa para obtener materiales adsorbentes.

Finalmente, en este estudio se presentaron alternativas de valorización de residuos de café y cáscaras de naranja, lo que sugiere ventajas como: 1) reducción de riesgos asociados a la contaminación que ocasionan estos residuos, 2) alternativas de obtención de materiales adsorbentes a partir de residuos orgánicos que pueden ser utilizados para aplicaciones ambientales, 3) beneficio económico mediante el aprovechamiento de las materias primas extraídas.

Referencias

- [1] Barragán B., Laguna A. (2008). Utilización de Residuos Agroindustriales. *Revista Sistemas Ambientales*, 2(1), 44-50.
- [2] Saval. S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *BioTecnología*, 16(2) 14-46.
- [3] Laufenberg, Nystroem G. B. K., M. (2003). Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. *Bioresource Technology*, 87, 167-198.
- [4] Pfaltzgraff, L., Cooper E., Budarin V., Clark J. (2012). Food waste biomass: a resource for high-value chemicals. *The Royal Society of Chemistry*. doi:10.1039/c2gc36978h
- [5] Daglia M, Racchi M, Papetti A, Lanni C, Govoni S, Gazzani G, (2004) In vitro and ex vivo antihydroxyl radical activity of green and roasted coffee", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(6)1700-1704.
- [6] Kondamudi N., Mohapatra S.K., Misra M., (2008) Spent Coffee Grounds as a Versatile Source of Green Energy, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(24) 11757-11760.
- [7] Pérez E. (2015) Evaluación de un carbonizador portátil de bajo costo en la valorización de residuos biomásicos lignocelulósicos. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
- [8] Addosio R. D., Marín M., Mármol Z., Ferrer J. (2005) Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). *Rev. Fac. Agron.*, 22, 240-249.
- [9] Yepes S., Orozco F. (2008) Valorización de Residuos Agroindustriales-Frutas en Medellín y el Sur del Valle de Aburrá, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 61(1), 4422-4431.
- [10] Dominiak M., Wichmann J., Vidal S., Willats W., Meyer A., Mikkelsen J. (2014) Application of enzyme for efficient extraction, modification and development of functional properties of lime pectin. *Food Hydrocolloids*, 40, 273-282.
- [11] Tomasevic A. V. and Siler-Marinkovic S. S., (2003) Methanolysis of used frying oil, *Fuel Process. Technol.*, 81(1) 1-6.
- [12] Ma F. and Hanna M. A., (1999) Biodiesel production: a review, *Bioresour. Technol.*, 70, 1-15.

- [13] Lva Y., Liua M., Xionga W., Xua Z., Zhua D., Wright D. (2012) A self-template synthesis of hierarchical porous carbon foams based on banana peel for supercapacitor electrodes. *Journal of Power Sources*, 209, 152-157.
- [14] Prahas D., Indraswati N., Ismadji S.. (2008) Activated carbon from jackfruit peel waste by H₃PO₄ chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization. *Chemical Engineering Journal*, 140, 32–42.
- [15] Marsh H., (2006) *Activated Carbon*, 1st. Ed. ELSELVIER, Amsterdam,
- [16] Norma Mexicana NMX-AA-015-1985 (1985) *Protección al ambiente, Contaminación del suelo, residuos sólidos municipales*. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, México D.F.
- [17] Montgomery D. (2008), *Design and analysis of experiments* Séptima Edición. Wiley. Estados Unidos.
- [18] Norma mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013 (2013) *Análisis de agua, medición de grasas y aceites recuperables*. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, México D.F.

Estudio de factibilidad para elaborar composta en un municipio de Veracruz

Ricardo S. Blanco Luna Gloria I. González-López*, Elena Rustrián Portilla, Abigail Zamora Hernández,
²Sylvie J. Turpin Marion y Eric Pascal Houbbron
Laboratorio de Gestión y Control Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Prol. Oriente 6 N° 1009,
Col. Rafael Alvarado. Orizaba, Ver. CP 94340. México. . Tel. 01-22-88-42-17-00 ext 33303. ²Universidad Autónoma
Metropolitana, Departamento de Energía, San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Ciudad de México, CP 02200
*gllopez@uv.mx

Resumen

El presente trabajo se ubica en el municipio de Orizaba, Ver., que pertenece a la zona centro del estado de Veracruz. Cuenta con 126,005 habitantes, que generan diariamente alrededor de 100 toneladas de residuos sólidos urbanos. Poco más de 21 toneladas provienen de los cuatro mercados de la ciudad, constituidos en su mayor parte por materiales orgánicos fácilmente degradables. En dicho municipio se llevan cabo programas de separación de los residuos reciclables que se generan en las casa habitación y existe un programa interno de clasificación en dos mercados. El objetivo de este trabajo es efectuar un análisis de la factibilidad técnica y económica del municipio para transformar los residuos de los mercados en composta. La perspectiva es buena, debido a los siguientes factores: el interés de las autoridades de Limpia Pública en invertir en este tipo de tratamiento, se cuenta también con un predio donde podría efectuarse el proceso de compostaje. Algo relevante es que representaría un importante ahorro, mayor a cien veinte mil pesos mensuales, que corresponden actualmente a la cantidad que se paga por disponer en el relleno sanitario las 630 t mensuales de residuos orgánicos que generan los mercados de la ciudad.

Palabras Clave: *Composta, Orizaba, residuos sólidos orgánicos.*

1. Introducción

La sociedad en su quehacer cotidiano ofrece a sus individuos los satisfactores necesarios para la vida. La producción de estos es posible gracias a la apropiación de los recursos naturales y su transformación en bienes y servicios útiles. En los procesos de transformación y utilización de los satisfactores se generan excedentes “no útiles”, llamados comúnmente residuos. Estos residuos se dividen en emisiones a la atmósfera, descargas de aguas residuales y residuos sólidos. A su vez, los residuos sólidos se clasifican en México en tres tipos: residuos peligrosos (RP), residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos de manejo especial (RME) [1].

Los RSU al acumularse y no reincorporarse a la naturaleza en un corto o mediano plazo generan contaminación. La contaminación afecta al suelo, aire, ríos, lagos, mares, plantas, animales y a las personas. Los problemas de salud pública causados por la acumulación de los RSU a cielo abierto son numerosos, sin mencionar las graves afectaciones al mismo ambiente.

La composta se define como el producto de la degradación de residuos sólidos orgánicos (RSO). Es un material inodoro y estable, que no representa riesgo sanitario para el ambiente natural. Se produce bajo condiciones controladas que recrean, favorecen y aceleran las condiciones naturales de generación del humus. La materia prima para elaborar composta son los residuos orgánicos como: residuos alimenticios, de jardín, estiércol de animales de granja, etc. El proceso de compostaje transforma los residuos orgánicos en composta, la cual tiene potencial como mejorador de suelos y puede ser usado en la agricultura y horticultura. Se pueden aplicar todos los residuos biodegradables, como: restos orgánicos de comida, restos de frutas y verduras, ramos y hojas de los árboles, pasto, paja, excremento de animales, papel, madera (cuando no están contaminados con productos químicos) [2].

Los programas de compostaje municipal han tenido un gran auge durante las últimas décadas, impulsados por gobiernos locales, en instituciones tanto públicas como privadas. El compostaje es una opción que permite a las autoridades municipales la reducción de los residuos que vayan a ser depositados en el sitio de disposición final. El compostaje operado bajo criterios de eficiencia técnica y económica, puede representar un beneficio económico en el manejo integral de los RSU. Los procesos articuladores son la planeación, el financiamiento, la educación/ capacitación, la difusión, el involucramiento de actores y la evaluación. Es importante señalar que cada uno de los componentes y procesos, requiere disponer oportunamente de un conjunto de recursos humanos, materiales y financieros para llevarse a cabo. La falta o deficiencia de tan sólo uno de estos recursos hace imposible implementar el programa [3].

El compostaje es una opción que permite a las autoridades municipales reducir los residuos que vayan a ser depositados en el sitio de disposición final, lo cual es importante, ya que existe una reducción en los costos de traslado y disposición final [4].

El objetivo de este trabajo es desarrollar un estudio de factibilidad que integre los factores técnicos y económicos, necesarios para que el municipio de Orizaba, Ver. cuente con elementos para decidir si le conviene elaborar composta.

2. Metodología

En el desarrollo de este trabajo se tiene el apoyo del cuerpo académico del Laboratorio de Gestión y Control Ambiental (LABGECA), de la Facultad de Ciencias Químicas, así como también el respaldo técnico de Enrique Corona, supervisor de Limpia Pública del municipio de Orizaba.

Lo primero que se llevó a cabo fue el Inventario de las fuentes generadoras. Como ya se mencionó, el estudio de factibilidad para elaborar composta se trabajará en coordinación con el área de Limpia Pública del municipio en cuestión. Para lo anterior, primero se realizarán visitas a las principales fuentes generadoras de RSO, de donde provendrá la materia prima para la composta; los sitios donde se realizará el inventario serán los mercados, con esto se recopilarán datos de la cantidad generada diariamente, el tipo y estado de los desechos.

El segundo paso es determinar el transporte a emplear. Teniendo la cuantificación de la materia prima generada en los mercados y su ubicación, se determinarán los costos del transporte adecuado para llevarla al sitio de tratamiento. El municipio cuenta con camiones de carga trasera, que actualmente acuden a los mercados a efectuar la recolección, pero no existe uno que lo haga de manera exclusiva en los mercados. La propuesta será determinar el que mejor se adapte a la cantidad de desechos generados, en toneladas por día, además calcular la ruta y los horarios de recolección en los cuatro mercados.

Tercero, dimensionamiento de la planta de composta. Posteriormente, se analizará si el sitio con que cuenta el municipio es adecuado para instalar la planta de compostaje. Se hará el cálculo de las dimensiones para el funcionamiento óptimo de dicha planta. Es importante mencionar que el sitio para la construcción de la planta se debe encontrar alejado del centro histórico de la ciudad, así como también a un margen razonable de casas habitación. El objetivo de lo anterior es minimizar el impacto visual y de olores de la planta de composta.

El siguiente paso es elegir el equipo correcto para la operación de la planta, ya que la parte económica juega un papel importante en este proyecto. Si el precio se encuentra al margen o por debajo de la línea de gasto mensual que el municipio invierte para enviar los RSO al relleno sanitario, entonces se puede decir que será factible económicamente, ya que el pago mensual por disposición final disminuirá; a la fecha supera los 120 mil pesos. El producto final que se obtenga, es decir la composta, puede ser destinada para uso en los jardines de la ciudad, o también puede ser comercializada y recuperar un porcentaje de la inversión.

Personal y materiales para la construcción y operación. Dentro de la planeación de la planta de composta, también se necesitará la cuantificación del personal y los materiales necesarios para su construcción y operación. Se debe contratar al número de empleados necesarios y determinar el costo que tendrá la capacitación técnica, con el fin de que el proceso de compostaje se realice de manera adecuada.

Cuando se tengan analizados los puntos anteriores, entonces se obtendrá el costo integrado del proyecto, el cual incluirá desde el transporte de la materia prima de las fuentes generadoras al sitio de disposición, las instalaciones destinadas al compostaje, el costo de la construcción, de la operación, el equipo y la mano de obra involucrados.

Finalmente, se realizará la redacción de un documento que se presentará a las autoridades municipales correspondientes, para que con los datos obtenidos con los estudios realizados, se tome una decisión y saber si la construcción de la planta de composta puede ser factible, de acuerdo a las posibilidades económicas y de sitio que consideren las autoridades del ayuntamiento de Orizaba.

3. Resultados

Las acciones que se han efectuado son dos: se realizó el inventario de los RSO factibles de transformarse en composta, provenientes de los mercados. También se diseñaron las rutas de recolección óptimas para dichos residuos. Se tienen 4 mercados, que producen en conjunto diariamente alrededor de 20 toneladas. Se acudió a cada uno a recabar datos acerca del tonelaje que se genera, los horarios en que acude el servicio de recolección, su organización interna, la localización y cantidad de almacenamientos temporales con que cuentan, si existen programas internos de separación, etc. En la Tabla 1 se detallan los datos que proporcionaron los administradores de los mercados.

Tabla 1. Inventario de RSO en los mercados

Mercado	Horario de servicio (lunes a domingo)	Días de recolección	Horario de recolección	Generación (t/d)
Melchor Ocampo	6:00–21:00 h	Diario	8:00 y 18:30 h	7
Emiliano Zapata	5:00 a 21:00 h	Diario	8:00 y 18:30 h	1.8
Venustiano Carranza (flores)	24 h	Diario	12:30 y 16:30 h	0.6
San Juan de los Cerritos	7–18 h (venta menudeo); 24 h (mayoreo)	Diario	9:30, 13:30 y 20:30 h	12.6

Como se puede apreciar en la tabla, se generan poco más de 20 toneladas en promedio diariamente. Esta es la cantidad a considerar para convertirla en composta.

En la figura 1 se presentan algunas imágenes de los almacenamientos temporales existentes en los mercados. Se pudo observar que las áreas de almacenamiento se conservan limpias y los RSO son recolectados continuamente, sobre todo en los mercados donde se tiene mayor generación (primero y cuarto de la Tabla 1).



Figura. 1. Infraestructura existente en los mercados para el almacenamiento de sus RSO

Posteriormente, se ubicaron los mercados en un mapa de la ciudad de Orizaba (Figura 2), con el fin de medir las distancias que debe recorrer el camión recolector, calcular los tiempos y los costos asociados. En la parte inferior de los planos de la Figura 2, se señala el sitio donde probablemente se podría llevar a cabo el proceso de compostaje. Es un predio de 3.5 hectáreas, ubicado en un municipio conurbado, donde se concentran varios servicios del Municipio, por lo que se denomina SERMUN. Cabe mencionar que ahí se encuentra actualmente la Estación de Transferencia de Orizaba.

En el segundo plano de la figura 2, se marcaron en azul y rojo las dos rutas de recolección diseñadas para los 4 mercados. Se optimizó el recorrido y la cantidad de RSO que pueden recoger los camiones recolectores con que cuenta el municipio. Ambas rutas superan los 10 kilómetros, distancia que deben recorrer en total los camiones en su recorrido por los mercados. La ruta 1, en color azul, es de 11.7 km. La ruta 2, en rojo, es menor, tiene 10.2 km.

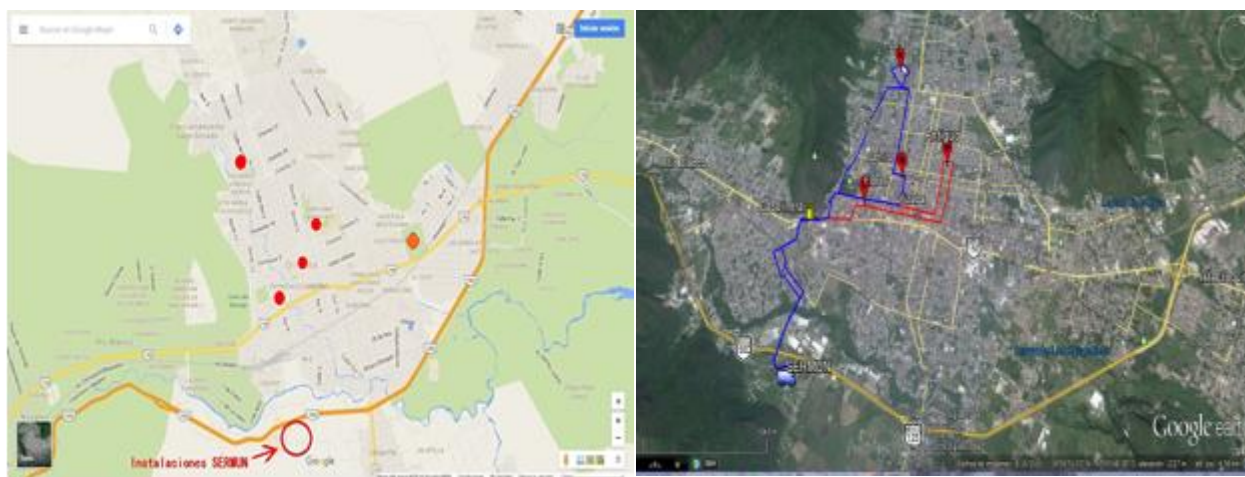


Figura. 2. Ubicación de los mercados en la ciudad de Orizaba y rutas de recolección propuestas

A la fecha son los avances que se tienen, queda pendiente calcular la superficie necesaria para procesar los RSO, las dimensiones del equipo, el número de operadores, así como los materiales y suministros a emplear en el proceso. Con los resultados que se han obtenido, que constituyen los parámetros de diseño, es posible continuar con el resto del proyecto.

Como ya se mencionó, este proyecto se efectúa en coordinación con las autoridades de Limpia Pública del mencionado Municipio. Desde hace algunos años, se han emprendido diversos programas para minimizar

y reciclar los RSU que se generan en la Ciudad. Se tiene uno denominado Basura por Predial, donde en horarios y puntos establecidos, un camión adaptado recolecta materiales reciclables que los ciudadanos entregan; a cambio se les otorgan vales equivalentes en dinero, que la gente debe entregar anualmente, cuando acude a pagar sus impuestos. El fin es disminuir la aportación en efectivo en el impuesto predial de las casas habitación.

El proyecto de compostaje tiene como objetivo principal disminuir la cantidad de residuos que se disponen en el relleno sanitario [4]. Lo anterior trae asociados una serie de beneficios que las autoridades ambientales quieren lograr. Primero: reducir los costos por disposición final en el relleno, ya que es un servicio particular; segundo: obtener una materia prima que se emplearía en la cantidad importante de parques, jardines y áreas verdes del municipio de Orizaba. Tercero: apuntalar la denominación de Pueblo Mágico que obtuvo la Ciudad en 2015.

4. Conclusiones

Uno de los tratamientos que se puede aplicar a los RSU que se generan en las ciudades es el biológico, transformando la fracción orgánica fácilmente degradable en composta. Las principales fuentes de dicho tipo de residuos son los mercados.

El municipio de Orizaba es un candidato ideal para aplicar composta en sus RSO, porque la cantidad que se genera en sus mercados es menor de 20 t/d.

Los beneficios del tratamiento mencionado serían disminuir la cantidad de residuos que se destinan a disposición final, con lo que se lograría un ahorro en el pago al relleno sanitario. La segunda ventaja sería contar con un producto para abonar las áreas verdes o para comercializarlo con los productores de cultivos diversos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Cámara de Diputados. H. Congreso de la Unión en la LXIII Legislatura. (2003). Diario Oficial de la Federación del 8 de octubre del 2003 donde se decreta la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. 10/10/2013, de Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión en la LXIII Legislatura. Sitio web: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpggir/LGPGIR_orig_08oct03.pdf
- [2] Wehenpohl G y. Hernández B. M. P. (2006). Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- [3] Rodríguez Salinas M. A. y Córdova y Vázquez A. (2006). Manual de compostaje municipal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INECOL). México.
- [4] Gobierno del Estado de Veracruz (2013). Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en el Estado de Veracruz. Secretaría de Medio Ambiente

Vetiver planta fitorremediación de plomo, cobre y arsénico provenientes de lixiviados de residuos sólidos urbanos

¹ Sugey López Martínez, ² Ignacio López Y Celis, ² Víctor Hugo Lara Corona, ³ José Rodolfo

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Carretera Villahermosa Cárdenas s/n Km. 0.5, entronque Bosques de Saloya Villahermosa, Tabasco, México, 86039. Teléfono. 01(993)351500 ext. 6404.

² Universidad Autónoma Metropolitana.

³ UJAT. División Académica de Ciencias Agropecuarias. UJAT-Velázquez Martínez, 4 Sebastián Alberto Ramos Arcos. DACBIOL alumnos de posgrado de en Ciencias Ambientales. sugey.lopez@ujat.mx

Resumen

Una alternativa a la problemática del incremento de la generación de residuos sólidos urbanos han sido los rellenos sanitarios, sin embargo el tratamiento de lixiviados es estudiado escasamente. *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) planta fitorremediadora principalmente de metales, la cual podría proponerse para disminución de la toxicidad de los lixiviados. Por lo que el objetivo del proyecto es identificar y determinar las concentraciones de tres metales; el plomo (Pb), arsénico (As) y el cobre (Cu). En la raíz y la hoja de la especie vetiver, en el suelo donde crece la planta y en el lixiviado que se utiliza en el riego de esta especie proveniente del relleno sanitario de Villahermosa Tabasco de la empresa Promotora Ambiental. La identificación de estos compuestos se llevó a cabo por medio de espectroscopia de absorción atómica con plasma acoplado (ICP). Los resultados sugieren que la planta vetiver absorbe Cu, Pb y As. Sin embargo el As se determinó en concentraciones más altas que otras especies fitorremediadoras. Por lo que la especie *C. zizanioides* si puede fitorremediar estos tres metales presentes en los lixiviados siendo una alternativa de mitigación útil en los rellenos sanitarios.

Palabras Clave: relleno sanitario, lixiviados, metales, Vetiver, residuos sólidos urbanos.

1. Introducción

La biorremediación en los últimos tiempos ha ganado mayor importancia, como una tecnología alternativa para eliminación de los contaminantes elementales en suelo y agua, que requieren métodos eficaces de descontaminación [1]. La biorremediación se utiliza para una amplia gama de diferentes contaminantes, tal es el caso de los lixiviados. La NOM-083 SEMARNAT-2003 define que los lixiviados son los líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan, dando lugar a la contaminación del suelo o de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representando un riesgo potencial a la salud humana, ecosistemas y organismos vivos.

Siendo la producción de residuos y por ende la generación de lixiviados una problemática ambiental severa. La fitorremediación es una tecnología atractiva para la remediación de vertederos, ya que puede estabilizar el suelo y remediar simultáneamente lixiviados. Además, las celdas de rellenos pueden potencialmente combinarse con cubiertas verdes [2]. Existen trabajos con fitorremediación de lixiviados [3], no obstante estos se han realizado en condiciones de laboratorio y en otros países. Sin embargo se hace mención que el uso de las plantas reduce el contenido orgánico recalcitrante del suelo [4]. La composición de estos lixiviados puede variar de acuerdo a la composición química y esta variabilidad está influenciada por factores como la naturaleza de la materia prima; la madurez de la composta, la tecnología de compostaje empleado, el grado de cobertura y el clima [5].

Chrysopogon zizanioides (nombre común Vetiver) es una planta muy utilizada y originaria de la india [6]. Se ha reportado como fitorremediadora debido a su bioconcentración de metal como el cadmio y cobre [7],

también hay reportes de localización de mercurio a través de espectrometría de rayos x utilizando el mecanismo de la fitoextracción [8]. Abaga [9] reporta la eficacia de vetiver en la absorción y desaparición de endosulfán (insecticida y acaricida organoclorado). Algunos trabajos han citado a esta planta para tratamiento de aguas residuales [10]. Otros trabajos importantes sobre esta especie es la evidencia de absorción de tetraciclina (antibiótico) y mercurio a través de cromatografía líquida-tándem-espectrometría de masas, con una eliminación por completa en cuarenta días, en raíz y brotes [11].

Vetiver también ha sido reportada en la acumulación de arsénico de suelos contaminados con plaguicidas de diferentes propiedades físico-químicas. Los resultados obtenidos por Datta [12], demuestran que Vetiver es capaz de tolerar niveles moderados de arsénico de hasta 225 mg / kg y que la eficiencia de remoción de arsénico ha sido fuertemente influenciado por las propiedades del suelo. Hay reportes de esta planta como "hiperacumulador" para plomo y zinc [13]. También se han hecho pruebas de fitorremediación con hidrocarburos [14].

Chrysopogon zizanioides tolera variaciones climáticas extremas tales como sequías prolongadas, inundaciones, sumersión y temperaturas (-15 grados - 55 grados C), los suelos con alto contenido de acidez y la alcalinidad (pH 3.3 a 9.5), los altos niveles de Al (porcentaje de saturación de 85%), Mn (578 mg kg (-1)), la salinidad del suelo (ECSE 47,5 dS m (-1)) , sodicidad (ESP 48%). una amplia gama de metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se y Zn). Vetiver puede acumular metales pesados, en particular el plomo y el zinc. También puede absorber y promover la biodegradación de los desechos orgánicos (2,4,6-trinitroluene, fenol, bromuro de etidio, benzo [a] pireno, atrazina) [15].

Para la problemática de lixiviados en el ambiente, una posible opción es el uso de esquemas de rehabilitación basados suelo-planta. Algunos autores afirman que la fitorremediación de lixiviados ha sido un éxito [3]. Otros mencionan que la fitorremediación es una tecnología atractiva para la remediación de vertederos [2]. Sin embargo hay pocos reportes de sobre la fitorremediación de esta planta in situ. Por lo que el objetivo de este proyecto es identificar la presencia y concentración de plomo, cobre y arsénico en la raíz y hoja de *Chrysopogon zizanioides* para afirmar que la planta esta fitorremediado lixiviados provenientes del relleno sanitario de la empresa Promotora Ambiental (PASA).

2. Metodología/Desarrollo

2.1 Colecta y pre tratamientos de muestras

El material vegetal se colectó por triplicado en el relleno sanitario de Villahermosa Tabasco de la empresa Promotora Ambiental S.A (PASA). La planta se colectó completa: raíz y partes aéreas, las cuales fueron lavadas y secadas a la sombra a una temperatura de 24°C y colocada en papel estraza y prensada, se realizó la separación de las partes aéreas tanto del control (sin ser expuesta a los contaminantes) como el de la planta expuesta al contaminante.

Se tomaron 0.5 g de la muestra y se disolvieron en 10 mL de ácido nítrico libre de trazas para su digestión durante 15 min a 800 W, en un horno de microondas modelo MARS marca Thermo Scientific. Una vez fríos los recipientes, el contenido se filtró, se centrifugó y se diluyó a un 1mL de acuerdo a la concentración esperada del analito y se conservaron a 4°C hasta su análisis.

Se colectaron tres muestras de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Villahermosa, Tabasco, aproximadamente 300 mL en frascos de vidrio borosilicato y fueron preservados a 4 °C, esto con base en la norma NMX-AA-003-1980, para la determinación de metales pesados las muestras se acidificaron con ácido nítrico a pH menor a 2.

Como pre-tratamiento para las muestras de lixiviado, se filtraron por un papel filtro con tamaño de poro de 11 µm (Grado 1) y se realizó una digestión química.

2.2 Identificación de metabolitos de planta suelo y lixiviados

Para conocer la presencia de metales en las muestras de lixiviados se utilizó la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico (As), bario (Ba), berilio (Be), cadmio (Cd), níquel (Ni), plata (Ag), plomo (Pb), selenio (Se), talio (Ta), vanadio (V). Se utilizó un Espectrofotómetro de Inducción de Plasma Thermo Scientific. Para realizar la cuantificación de los metales, se realizó curvas de calibración con soluciones estándares.

3. Resultados

Se identificaron diferentes elementos en los extractos de las plantas para este proyecto se seleccionaron solo tres los cuales ya está preestablecida la toxicidad y los daños a la salud que presenta el plomo (Pb), Arsénico (As) y Cobre (Cu).

El Cu está dentro del grupo de metales pesados, llamados oligoelementos, y que pueden servir como micronutrientes para los cultivos, ya que son requeridos en pequeñas cantidades y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. El As es considerado dentro del grupo de los metaloides. Asimismo existen metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades afectan el funcionamiento de diferentes organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos, elementos tales como el Cd, Hg, Pb, Sb, Bi, Sn, Tl [16].

El Pb es un contaminante ambiental altamente tóxico, su presencia en el ambiente se debe principalmente a las actividades antropogénicas como la industria, la minería y la fundición [17]. Las consecuencias a la exposición de altas concentraciones en bebés y niños, ocasiona retardo en desarrollo físico o mental; podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. En adultos trastornos renales e hipertensión. El Arsénico se suele presentar en combinación con otros elementos (FeAsS, As₂S₃, As₂S₂, etc.), siendo un constituyente natural de los suelo (su concentración media se sitúa entre 1 y 2 ppm [18].

El cobre es usado comercialmente para diversos fines, entre ellos la minería y la industria metal-mecánica. El cobre es un irritante del tracto gastrointestinal, pero generalmente no es peligroso para los humanos a concentraciones menores de 3 mg/l. Sin embargo hay individuos que tienen un desorden en el metabolismo a causa del cobre llamado enfermedad de Wilson, los cuales pueden ser afectados a estas concentraciones.

La toxicidad del arsénico puede producir alteraciones diversas en sistema respiratorio, gastrointestinal, cardiovascular, nervioso y renal, dependiendo la severidad de la manifestación clínica de la duración e intensidad de la exposición. Todo ello da lugar a distintos procesos patológicos, como disfunciones renales, hipertensión, arteriosclerosis, inhibición del crecimiento, desmineralización ósea, supresión de la boca, estómago e intestino. Producen por otra parte efectos abortivos, trastornos psicomotores, irritabilidad y dolores de cabeza. El arsénico es proveniente de la erosión de depósitos naturales, aguas de escorrentías de huertos, aguas con residuos de la fabricación de vidrios y electrónicos [19].

En la tabla 1 Se puede observar el tipo de muestra en donde se identificaron y se evaluaron las concentración de tres elementos que se encuentran presentes en los lixiviados provenientes de la celda del relleno sanitario de la empresa Promotora Ambiental S.A. (PASA).

Tabla 1. Determinación de metales en planta fitorremediadora, suelo y lixiviados provenientes del relleno sanitario de PASA

MUESTRA	METALES DETECTADOS CON ICP-OES		
	Pb	Cu	As
Lixiviado	0.142±0.018	3.96±0.53	39.17±1.98
Suelo contaminado	8.718±0.02	8.638±0.98	10.912±2.03
Suelo sin contaminar	ND	0.219±0.012	5.58±2.03
Hoja de Vetiver contaminada con lixiviados	0.443±0.02	0.895±0.04	59.715±2.65
Hoja de vetiver control	ND	0.512±0.018	ND
Raíz de vetiver contaminada	1.598±0.03	8.481±0.34	33.353±1.95
Raíz de vetiver control	ND	0.247±0.05	0.325±0.05

Unidades de la tabla son mg/kg con sus respectivas los valores son la media de 3 muestras ± SD

El primer en mencionar es el plomo tanto en la hoja 0.443 mg/kg como en la raíz 1.598mg /kg, comparadas con la literatura esta especie llega acumular 19.800 en raíz y 3350 mgKg [20]. Este experimento antes mencionado se realizó en condiciones de invernadero utilizando suelo modelo que aparentemente solo contenía Pb. Por tal motivo deben ser consideradas las condiciones *in situ*. Las concentraciones de Pb en el lixiviado son más pequeñas (0.142 mg/kg) y en el suelo se incrementan (8.718 mg/kg) lo que podría indicar que el suelo retiene la mayor concentración del metal y que posiblemente la absorción de la planta no sea tan fácil exponiéndola a un contaminante complejo como son los lixiviados de residuos sólidos urbanos y también a diferente condiciones climáticas en las que se expone. Andra menciona por ejemplo que el ácido tetraacético ethylenediamene (EDTA) se ha usado para movilizar plomo suelo (Pb) y mejorar la absorción de las plantas para la fitorremediación. Lo que podría sugerir que existen algunos compuestos que están presentes o que pueden adicionarse para hacer más sencilla la absorción de estos metales en las plantas. Existen otros autores como Guzmán y colaboradores [21] que determinaron en la especie Sardinillo amarillo (*Tecoma stans*) 220 mg/ kg en condiciones de laboratorio. Es importante mencionar que los valores de Pb en el lixiviado son menores que en el suelo, esto puede sugerir que el suelo está reteniendo metales.

Los resultados en la identificación y determinación de la concentración del Cu coinciden con Banerjee, [22] en el cual la concentración en suelo sin contaminar (0.247mg/kg) son pequeñas y las plantas control también presentan concentraciones bajas. Sin embargo la concentración que determinan de Cu en el suelo es mayor (45.25 mg/kg) de la que se reporta en este estudio (8.63 mg/kg). Tal vez por eso las concentraciones que reportamos nosotros tanto en la raíz como en las hojas son menores que las de Banerjee (32.85 - 53.29 mg/kg respectivamente). Y nuevamente observamos el mismo fenómeno en donde las concentraciones de los metales son más abundantes en el suelo que inclusive en el lixiviado. Otras especies fitorremediadoras con reporte de Cu es *Cyperus rotundus* L. (corocillo) (30.75 mg.L-1) extrae mayor cantidad de Cu que las especies *Wedelia trilobata* (L) A. Hitc. (wedelia) (22.39 mg.L-1) y *Cenchrus ciliaris* L. (pasto buffel) (16,74 mg.L-1) [23].

Finalmente en el lixiviado las concentraciones más elevadas son las del arsénico, las cuales pueden deberse a que en el estado de Tabasco se utilizan los pesticidas debido a que la agricultura es abundante. Las concentraciones de arsénico en el suelo y en el control (sin lixiviados) sugiere que la mayor cantidad de arsénico es proveniente del lixiviado y que al parecer este es concentrado en el suelo. La presencia de arsénico en la raíz es abundante comparado con Srisatit y colaboradores [24]. Los cuales encontraron valores de 1.2002 mg/kg en raíz y 8.42 mg/kg en las hojas de Vetiver. En otras especies fitorremediadoras como *Artemisa abrotanum* han reportado en las hojas 20.13mg kg [25]. En *E. macrostachya* y *S. americanus* en raíces 11.76 y 10.18 mg/kg y en las hojas 0.15 y 0.45mg/kg respectivamente [26]. Las concentraciones determinadas en las hojas de Vetiver fueron de 59.715mg/kg y en la raíz expuestas a lixiviados fue de 33.353 raíz.

5. Conclusiones

Con base al objetivo de este trabajo se considera a *Chrysopogon zizanioides* adecuada para la fitorremediación de tres metales tóxicos que se encuentran en los lixiviados provenientes del relleno sanitario. Sin embargo no se descarta la posibilidad que pudiera estar absorbiendo otros elementos que se encuentren inmersos en un contaminante tan complejo como son los lixiviados.

Se puede concluir que el suelo que utilizan para el recubrimiento de las celdas y en donde crecen las plantas concentra o retiene dos de los metales determinados en este proyecto. Por lo que es recomendable hacer análisis fisicoquímicos del suelo en donde crece la planta, con la finalidad de hacer más biodisponibles los metales y la absorción de ellos a través de la planta sea más efectiva.

La especie *Chrysopogon zizanioides* (Vetiver) fitorremedia altas concentraciones de arsénico presente en los lixiviados proveniente de los residuos sólidos urbanos.

6. Agradecimientos

Agradecemos a la empresa Promotora Ambiental S.A. que financio este proyecto. Agradecemos el apoyo de Fidelia Vázquez Cruz, Edmundo Zamudio García y especialmente Ricardo López Loredó.

7. Referencias

- [1] Eapen, S., Singh, S., D'Souza, S. F. (2007). Advances in development of transgenic plants for remediation of xenobiotic pollutants. *Biotechnology Advances*, 25:442-451. doi: 10.1016/j.biotechadv.2007.05.001.
- [2] Kim, K. R., Owens, G., & Kwon, S. L. (2010). Influence of Indian mustard (*Brassica juncea*) on rhizosphere soil solution chemistry in long-term contaminated soils: a rhizobox study. *Journal of Environmental Sciences*, 22 (1), 98-105. doi:10.1016/S1001-0742(09)60080-2
- [3] Jones, D. L., Williamson, K. L., & Owen, A. G. (2006). Phytoremediation of landfill leachate. *Waste Management*, 26(8), 825-837. En línea <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16168631>> Recuperado 13/05/2016.
- [4] De Torres-Socías, E., Prieto-Rodríguez, L., Zapata, A., Fernández-Calderero, I., Oller, I., & Malato, S. (2015). Detailed treatment line for a specific landfill leachate remediation. Brief economic assessment. *Chemical Engineering Journal*, 261, 60-66. doi: 10.1016/j.cej.2014.02.103.
- [5] Tyrrel, S. F., Seymour, I., & Harris, J. A. (2008). Bioremediation of leachate from a green waste composting facility using waste-derived filter media. *Bioresource technology*, 99(16), 7657-7664. doi: 10.1016/j.biortech.2008.01.079.
- [6] Adams, R. P., Nguyen, S., Johnston, D. A., Park, S., Provin, T. L., & Habte, M. (2008). Comparison of vetiver root essential oils from cleansed (bacteria-and fungus-free) vs. non-cleansed (normal) vetiver plants. *Biochemical Systematics and Ecology*, 36(3), 177-182. doi:10.1016/j.bse.2007.10.004
- [7] Abaga, N. O. Z., Dousset, S., Mbengue, S., & Munier-Lamy, C. (2014). Is vetiver grass of interest for the remediation of Cu and Cd to protect marketing gardens in Burkina Faso?. *Chemosphere*, 113, 42-47. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.04.010
- [8] Lomonte, C., Wang, Y., Doronila, A., Gregory, D., Baker, A. J., Siegele, R., & Kolev, S. D. (2014). Study of the Spatial Distribution of Mercury in Roots of Vetiver Grass (*Chrysopogon zizanioides*) by Micro-Pixe Spectrometry. *International journal of phytoremediation*, 16(11), 1170-1182. En línea <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24933909>> Recuperado 02/05/2016.
- [9] Abaga, N. O. Z., Dousset, S., Munier-Lamy, C., & Billet, D. (2014). Effectiveness of Vetiver Grass (*Vetiveria Zizanioides* L. Nash) for Phytoremediation of Endosulfan in Two Cotton Soils from Burkina Faso. *International journal of phytoremediation*, 16(1), 95-108. doi:10.1080/15226514.2012.759531
- [10] Kantawanichkul, S., Sattayapanich, S., & Van Dien, F. (2013). Treatment of domestic wastewater by vertical flow constructed wetland planted with umbrella sedge and Vetiver grass. *Water Science & Technology*, 68(6). doi: 10.2166/wst.2013.379

- [11] Datta, R., Das, P., Smith, S., Punamiya, P., Ramanathan, D. M., Reddy, R., & Sarkar, D. (2013). Phytoremediation potential of vetiver grass [*Chrysopogon zizanioides* (L.)] for tetracycline. *International journal of phytoremediation*, 15(4), 343-351. doi.org/10.1080/15226514.2012.702803.
- [12] Datta, R., Quispe, M. A., & Sarkar, D. (2011). Greenhouse study on the phytoremediation potential of vetiver grass, *Chrysopogon zizanioides* L., in arsenic-contaminated soils. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 86(1), 124-128. doi: 10.1007/s00128-010-0185-8.
- [13] Antiochia, R., Campanella, L., Ghezzi, P., & Movassaghi, K. (2007). The use of vetiver for remediation of heavy metal soil contamination. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 388(4), 947-956. doi: 10.1007/s00216-007-1268-1.
- [14] Brandt, R., Merkl, N., Schultze-Kraft, R., Infante, C., & Broll, G. (2006). Potential of vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) for phytoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils in Venezuela. *International journal of phytoremediation*, 8(4), 273-284. doi: 10.1080/15226510600992808.
- [15] Danh, L. T., Truong, P., Mammucari, R., Tran, T., & Foster, N. (2009). Vetiver grass, *Vetiveria zizanioides*: a choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. *International journal of phytoremediation*, 11(8), 664-691. doi: 10.1080/15226510902787302
- [16] García, I., & Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por metales pesados. *Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola*. En línea <<http://edafologia.ugr>> Recuperado 25/04/2016
- [17] Hettiarachchi, G. M., Pierzynski, G. M., & Ransom, M. D. (2001). In situ stabilization of soil lead using phosphorus. *Journal of Environmental Quality*, 30(4), 1214-1221. doi: 10.1021/es001228p.
- [18] Barrachina, A. C., Carbonell, F. B., & Beneyto, J. M. (1995). Arsénico en el sistema suelo-planta. <<http://publicaciones.ua.es/filespubli/pdf/LD8479081929819613.pdf>> Recuperado 01/04/2016.
- [19] Gavilán García A. y Alcántara Concepción V. (2014) Propuesta de gestión, manejo y disposición de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos desde la perspectiva gubernamental en González Ávila María Eugenia y Ortega Rubio Alfredo. *Residuos-e del norte de México: retos y perspectivas de su gestión sustentable*. El Colegio de la Frontera Norte. Tijuana. pp 256-293
- [20] Andra, S. S., Datta, R., Sarkar, D., Saminathan, S. K., Mullens, C. P., & Bach, S. B. (2009). Analysis of phytochelatin complexes in the lead tolerant vetiver grass [*Vetiveria zizanioides* (L.)] using liquid chromatography and mass spectrometry. *Environmental Pollution*, 157(7), 2173-2183. doi: 10.1016/j.envpol.2009.02.014
- [21] Guzmán, F., Rico, R. M. A., Del Angel Meraz, E., & García, L. (2013) Concentración de Pb en plantas que se desarrollan cerca de una presa de jales. *Tendencias en la Ingeniería Química*, 117. Ed. UJAT
- [22] Banerjee, R., Goswami, P., Pathak, K., & Mukherjee, A. (2016). Vetiver grass: An environment clean-up tool for heavy metal contaminated iron ore mine-soil. *Ecological Engineering*, 90, 25-34. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.01.027.
- [23] Díaz, J., Chirinos, I., & Montiel, M. (2011). Determinación de la capacidad de tres especies vegetales para extraer cadmio y cobre en un suelo contaminado. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 28(1). En línea: <http://revfacagronluz.org.ve/PDF/suplemento_diciembre_2011/v28supl1a2011pv_301.pdf> Recuperado 23/04/2016.
- [24] Srisatit, T., Kosakul, T., & Dhitivara, D. (2003). Efficiency of arsenic removal from soil by *Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash and *Vetiveria nemoralis* (Balansa) A. Camus. *Sci. Asia*, 29, 291-296. En línea <http://www.vetiver.org/ICV3-Proceedings/THAI_arsenic.pdf> Recuperado 13/03/2016.
- [25] Esteban, E. B., García, F. P., Callejas, J., de los Angeles Lechuga, M., & Gaytán, J. C. (2005). Acumulación en tejidos vegetales de arsénico proveniente de aguas y suelos de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. *Bioagro*, 17(3), 129-135. En línea: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612005000300001> Recuperado 24/04/2016.

- [26] Valles-Aragón, M. C., & Alarcón-Herrera, M. T. (2014). Retención de arsénico en humedales contruidos con *Eleocharis macrostachya* y *Schoenoplectus americanus*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(2), 143-148. doi:10.1016/j.scitotenv.2008.06.045.

Potencial de recuperación de materiales en pilas descartadas

¹Paul Taboada-González, ¹Quetzalli Aguilar-Virgen, ¹Mydory Nakasima-Lopez, ²Sara Ojeda-Benítez,
²María Elizabeth Ramírez-Barreto

¹ Universidad Autónoma de Baja California. Calzada Universidad #14418, Parque Industrial Internacional Tijuana C.P. 22390
Tel. + 52 (664) 979 7500, Tijuana, Baja California. ptaboada@uabc.edu.mx

²Universidad Autónoma de Baja California, Calle de la Normal S/N y Blvd. Benito Juárez, Col. Insurgentes Este Mexicali B. C
^{1,2} Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a los Residuos Sólidos, A. C (SOMERS)

Resumen

El corto ciclo de vida de las pilas y la falta de estrategias integrales para su recuperación-reciclaje provoca una mayor demanda de materiales vírgenes. El uso de materiales reciclados provoca un impacto menor al ambiente. Se necesita tener conocimiento del potencial de aprovechamiento para generar estrategias de recuperación integrales. Se recolectaron pilas de puntos de acopio, se segregaron, estratificaron, registraron y pesaron. Las muestras se obtuvieron considerando un 95% de confianza, un error del 10% y una distribución de 50%. Los datos se analizaron estadísticamente mediante hoja de cálculo y el software Minitab®. Las pilas más descartadas son las alcalinas (Zn-MnO₂) 69%; Zinc-Carbón (Zn-C) 23%; Litio-ion 3%; Níquel-MH 2%, Níquel-Cadmio 2%; Mercurio-Cadmio 1%. Las pilas alcalinas constituyen la principal fracción desechada por la comunidad universitaria.

Palabras Clave: *Aprovechamiento de materiales, reciclaje, recuperación de materiales*

1. Introducción

El cambio en los estilos de vida y cultura ambiental influyen en los patrones de consumo y en el tipo de residuo generado. En los últimos años, la mayor adquisición de aparatos portátiles ha provocado una elevada demanda de pilas. Tan solo en México, en la década de 1996-2007 el consumo de pilas se incrementó 13 veces [1].

El corto ciclo de vida de las pilas y la falta de estrategias integrales para su recuperación-reciclaje, provoca que los materiales contenidos en éstas terminen rápidamente en el flujo de residuos domésticos. Esto provoca una mayor demanda de materiales vírgenes para la elaboración de pilas, tales como carbón, zinc, acero, manganeso, níquel, cadmio, entre otros.

El uso de materiales vírgenes provoca mayor deterioro al ambiente que el uso de materiales reciclados. La obtención de un metal virgen requiere de grandes cantidades de energía para la remoción de cientos de toneladas de suelo y/o subsuelo, que se procesa para extraer el mineral. Se emplean sustancias químicas altamente tóxicas –como el cianuro– para remover los minerales y se destruyen cientos de hectáreas de bosques, selvas o praderas. A diferencia, un material reciclado requiere menos energía para ser obtenido, el uso de químicos es menor y reduce la necesidad de terrenos para su disposición como residuo. De Michelis *et al.* [2] indican que el uso de metales reciclados en la producción de baterías en lugar de metales vírgenes tendría un impacto ambiental positivo ya que se reduce el consumo de energía y la contaminación relacionada con la extracción de la fuente virgen. Como ejemplo, el uso de cadmio y níquel reciclado requiere, respectivamente, 46% y 75% menos energía primaria en comparación con la extracción y el refinado de metal virgen.

Para coadyuvar en un manejo sustentable de las pilas y baterías descartadas, es necesario desarrollar programas integrales. En México, se han realizado campañas en escuelas públicas para acopiar las pilas descartadas por estudiantes y trabajadores, y evitar que estas ingresen al flujo de residuos domésticos. Estos programas son impulsados principalmente por los gobiernos estatales y la Secretaría de medio Ambiente y Recursos naturales (SEMARNAT).

Una Universidad del Norte de México participa en la campaña de acopio de pilas llamado "Ponte las pilas". Para elevar la efectividad en la recolección de pilas, la universidad ha implementado estrategias tal como la colocación de carteles y mantas. Los 12 contenedores del campus se encuentran en lugares estratégicos como el edificio de Vicerrectoría, centro de cómputo, biblioteca central, cafetería de centro comunitario y edificios administrativos. Como resultado de estas acciones, en el campus se recolectaron 736 kg de pilas en el año 2011 [3], 736.5 kg en 2012 [4], 732.9 kg en 2014 [5] y 550 kg en 2015 [6]. Del periodo 2013 no se tiene registro. De estas cantidades, se desconoce la composición respecto al tipo de sistema (Zn-MnO₂, Ni-Cd, Ni-MH, Li, AgO, HgO, Ni-Ión) y por tanto, se desconoce la cantidad de materiales que pudieran ser aprovechados. Rogulskia y Czerwiński [7] indican que si conocemos el porcentaje de elementos que constituyen una pila se puede calcular cantidades aproximadas de elementos para recuperarse de los residuos de pilas.

La recuperación de materiales de las pilas descartadas puede hacerse por procesos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos se pueden utilizar para reciclar los metales presentes en las baterías. Estos procesos de reciclaje actualmente se están estudiando en diferentes partes del mundo [8]. Otros estudios han identificado seis métodos para el tratamiento de pilas: 1) recuperación electroquímica de níquel y cadmio, 2) disolución de pilas en solución ácida, 3) polarografía de pulsos diferencial, 4) pirolisis, 5) aplicación de agentes químicos de estabilización y 6) reducción de los componentes de las pilas a pulpa [9].

Por lo expuesto y con la finalidad de generar información que permita incrementar la conciencia estudiantil y de la sociedad para lograr una mayor captación de pilas descartadas, este estudio tuvo como objetivo determinar el potencial de recuperación de materiales de las pilas recolectadas en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería (FCQI) de la Universidad Autónoma de Baja California.

2. Metodología/Desarrollo

Para determinar la cantidad de materiales que se pueden recolectar, se requiere conocer la composición de las pilas recolectadas. Por ello se hizo un estudio de caracterización de pilas.

El muestreo se realizó de la siguiente forma. Se acudió a los dos puntos de acopio de una facultad y se vaciaron los contenedores en bolsas de polietileno. Posteriormente se trasladaron a laboratorio de metrología, donde fueron clasificadas para su pesaje. Para evitar errores durante el proceso de separación, se implementaron ayudas visuales con fotografías de los tipos de pilas.

La clasificación se realizó considerando el tamaño de las pilas (botón, AAA, AA, C, D) y el tipo de pila (primaria o secundaria) por tamaño. Al terminar la clasificación se pesó cada clase de pila en una báscula digital con capacidad para 32 kg y sensibilidad de 5.7 gr. Posteriormente se contaron las pilas en cada clase. El total de pilas se consideró como la población a estudiar. Con estos datos y el software Stats[®] 2.0 se determinó el tamaño de la muestra, considerando un 95% de confianza, un error del 10% y una distribución de 50%. Este valor se verificó empleando la ecuación propuesta por D'Astous et al. [10] para el cálculo de muestras cuando se conoce la población (ver Ecuación 1).

$$n = \frac{Np(1-p)}{\frac{(N-1)ME^2}{Z_{\alpha/2}^2} + p(1-p)} \quad (1)$$

Donde N=tamaño de la población, p=probabilidad de ocurrencia del fenómeno, ME= es el margen de error, y $Z_{\alpha/2}$ = nivel de confianza o certidumbre (este valor se obtiene de la tabla de valores de probabilidad acumulada para la Distribución Normal Estándar).

Una vez seleccionada la muestra representativa de cada clase (botón, AAA, AA, C, D), se seleccionaron de manera aleatoria el número de unidades y se registraron sus características, tales como marca, tamaño, potencia, tipo (primaria, secundaria), sistema (Zn-MnO₂, Ni-Cd, Ni-MH, Li, AgO, HgO, Ni-Ión), peso, estado (descargada, regular, buen estado). El pesaje de cada pila de la muestra se realizó con una báscula con capacidad para 1 kg y sensibilidad de 0.1 gr. Para determinar el estado de las pilas al momento de ser descartadas, se les midió el voltaje con un probador de baterías digital. La escala empleada fue de 1.5 a 1.3 V para pilas en buen estado, de 1.2 a 1.0 V para pilas en estado regular, y menores a 1.0 V como pilas descargadas. Todos los datos fueron registrados en una hoja de cálculo para su análisis estadístico descriptivo mediante el software Minitab®.

Se realizó una estimación considerando los porcentajes indicados en la tabla 1. Se observó que estos porcentajes son cercanos a otros reportados [2]. No obstante, otros estudios [9]-[11] indican diferentes materiales y porcentajes en la composición de las pilas alcalinas, variando entre marcas y tipo de pila. Patton y Luján [12] indicaron que las pilas de Níquel-Cadmio contienen esencialmente níquel (20 a 32%) y cadmio (11 a 22%), pero también contiene pequeñas cantidades de cobalto (0,5%), hierro (2%) y eventualmente bario. Las pilas de Ni-MH contienen entre el 30 a 50% de Ni y los metales de las aleaciones Lantano (La), Cerio (Ce), Neodimio (Nd) y Praseodimio (Pr) representan hasta un 13% de la masa total de la pila.

Tabla 1. Composición química porcentual de las pilas primarias

	Carbón-Zinc	Alcalinas	Litio	Óxido de mercurio	Zinc-Aire	Óxido de Plata
Mercurio	--	--	--	33	2	1
Cadmio	--	--	--	--	--	--
Manganeso	25	30	30	--	--	--
Zinc	20	20	--	11	30	10
Fierro	20	20	50	--	45	40
Electrolito	5	5	--	--	4	3
Plástico y lámina	--	--	--	29	--	--
Plástico, papel, carbón y agua	30	25	--	--	20	16
Plástico, papel, carbón	--	--	10	--	--	--
Carbón	--	--	--	--	--	--
Litio	--	--	2	--	--	--
Plata	--	--	--	--	--	27-30

Fuente: [1]

3. Resultados

Un primer hallazgo corresponde a la cantidad de pilas en buen estado que se encontraron en el flujo de pilas descartadas. Los resultados de la medición de voltaje indican que el 7% de las pilas descartadas se encuentra en buen estado, 19% en estado regular y 74% descargadas. Si se toman como referencia estos porcentajes y se extrapolan a los datos presentados por Cuamea [3]-[4], Ledezma [5] y Perez [6], se estima que se habrían desechado 192.88 kg de pilas en buen estado (equivalente a 8,311 pilas AA). Esto indica un uso irracional y una demanda innecesaria de este producto y de los materiales requeridos para su elaboración. De esto, se hacen dos observaciones: a) los problemas ambientales son indiscutiblemente cuestiones sociales, causados por el comportamiento humano, y su resolución exigirá cambios en la conducta a nivel individual y social [13]; b) el derroche de materiales es particularmente importante teniendo en cuenta que la producción primaria de metales es responsable de aproximadamente el 10% de las emisiones globales de CO₂ [2]

Se recolectaron 1030 unidades con un peso total de 20,549 g. La composición de las pilas, por tamaño, se observa en la Tabla 2. Las pilas AA y AAA representan el 76.2% de las pilas descartadas. Otro estudio en México [11] reportó porcentajes diferentes (AA con un 76.43% y AAA con 10.02%). La diferencia pudiera ser los sitios donde fueron recolectadas las pilas. El primer sitio es en la dirección de la facultad, donde se

reciben las pilas descartadas del público en general y los programas educativos de química, mientras que el segundo punto se localiza en el edificio donde se encuentra el programa educativo de electrónica.

Tabla 2. Análisis de pilas por tamaño

Tamaño	AA	AAA	CR2032	LR44	LR41	D	9V	A123	C	Otras
Conteo	500	277	56	37	33	26	23	16	16	36
Peso promedio	20	15	2.9	1.7	1.7	145	38	15	65	5.23
Por ciento	49	27.2	5.5	3.6	3.2	2.5	2.3	1.6	1.6	3.5
% Acum	49	76.2	81.7	85.3	88.5	91.1	93.3	94.9	96.5	100

En este estudio, se observó que las pilas del comercio informal (aquellas que no se venden en tiendas de autoservicio) presentaron pesos inferiores de hasta 40% con respecto a las marcas líderes del comercio formal. Esto puede deberse a una menor cantidad de metales en el ánodo y cátodo de la pila o a una construcción menos robusta en la carcasa. En la tabla 3 se aprecia los pesos promedios de las baterías analizadas.

Tabla 3. Pesos promedios en gr y desviaciones estándar

TAMAÑO	Punto A (Dirección)		Punto B (Electrónica)	
	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S
C	68.33	2.44	48.50	*
D	126.00	28.36	141.76	2.71
9v	40.48	5.46	41.25	5.73
AAA	10.02	1.84	10.03	1.63
AA	23.21	2.57	21.91	3.56
AAA Recargables	15.00	0.00	6.6	0.00
AA Recargables	24.23	5.72	22.66	3.28

*Solo se presentó una unidad

Considerando el tipo de sistema, las pilas más descartadas son las alcalinas (Zn-MnO₂) 69%; Zinc-Carbón (Zn-C) 23%; Litio-ion 3%; Niquel-MH 2%, Niquel-Cadmio 2%; Mercurio-Cadmio 1%. Las pilas recargables representan el 2% del total descartado.

Los datos presentados en la tabla 4 indican que se pueden obtener 753.6 kg de Manganeso, 506.99 kg de Zinc, 549.43 kg de fierro, 41.33 kg de Níquel, 11.02 kg de Cadmio, 1.65 kg de Litio, 0.28 kg de Cobalto. Estos datos ofrecen una idea inicial acerca del potencial de recuperación de los materiales. No obstante, las cantidades reales recuperadas pudieran ser inferiores a las aquí expresadas debido a que existen aspectos que deben tenerse en cuenta. Por ejemplo, existe variación del contenido de metales en las pilas según el precio y el fabricante; las cantidades recuperadas de metales dependen de los métodos y técnicas empleadas, las pérdidas de materiales por lixiviación o evaporación en los procesos de recuperación, entre otros.

Tabla 4. Aprovechamiento de metales en kg

	Peso en kg	Manganeso	Zinc	Fierro	Litio	Aluminio	Cobalto	Niquel	Cadmio
Alcalinas	1901.226	570.37	380.25	380.25	---	---	---	---	---
Zinc-carbon	633.742	158.44	126.75	126.75	---	---	---	---	---
Litio ion	82.662	24.80	---	41.33	1.65	---	---	---	---
Niquel-MH	55.108	---	---	---	---	---	---	24.80	---
Niquel cadmio	55.108	---	---	1.10	---	---	0.28	16.53	11.0216

Algunos autores [14]-[15] indican que el procesamiento de baterías de Ni-MH resulta redituable por los metales que contienen y la relativa facilidad para su procesamiento. No obstante, también se indica [15] que en el caso de las pilas alcalinas el procesamiento de pilas puede no resultar sencillo. Esto obedece a que su contenido en metal no cubre los costos de su procesamiento, mientras que en el caso de las pilas Ni-Cd, los peligros asociados al manejo del Cd hacen muy costoso su procesamiento de neutralización, a pesar de que el Ni que contienen pudiese resultar valioso.

4. Conclusiones

La valorización de los residuos es importante, pero es más importante no generarlos. En este estudio se encontró que había pilas descartadas en buen estado, lo que constituye un derroche de recursos económicos y materiales. Como sociedad debemos de desarrollar estrategias para reducir la cantidad de pilas en buen estado que terminan en el flujo de residuos. Una propuesta pudiera ser la instalación de verificadores de voltaje en los puntos de acopio y si la pila se encuentra en buen estado, depositarla en un contenedor diferente al de las pilas gastadas para que puedan ser utilizadas por otras personas. El costo aproximado de un probador básico instalado sería de MXP\$350.

Las pilas descartadas no están valorizadas, como las latas de aluminio o las baterías de plomo-ácido, por lo que se requiere implementar estrategias como el cobro de impuestos especiales durante la compra para el tratamiento final. Esto permitiría contar con presupuesto para realizar una recolección y tratamiento organizado, con presupuesto adecuado. Países Europeos han optado por la educación ambiental como estrategia, con resultados favorables y sostenidos [7]. No obstante, se requieren de más estudios en el tema para generar información que coadyuve en la toma de decisiones y en la preservación de los recursos naturales.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al PRODEP por el financiamiento otorgado a través del proyecto de Integración de Redes Temáticas de Colaboración Académica 2015.

Referencias Bibliográficas

- [1]. Gavilán, G. A., Rojas, L., & Barrera, J. (2009). Las pilas en México: un diagnóstico ambiental. INE Instituto Nacional de Ecología. Retrieved from http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=598
- [2]. De Michelis, I., Ferella, F., Karakaya, E., Beolchini, F., & Vegliò, F. (2007). Recovery of zinc and manganese from alkaline and zinc-carbon spent batteries. *Journal of Power Sources*, 172(2), 975–983. doi:10.1016/j.jpowsour.2007.04.092
- [3]. Cuamea, F. (2012). *1er. Informe de actividades* (No. 1) (p. 219). Mexicali, B.C.: UABC. Retrieved from <http://www.uabc.mx/planeacion/informe/informe2011/Informe2011.pdf>
- [4]. Cuamea, F. (2013). *2do. Informe de actividades* (No. 2) (p. 219). Mexicali, B.C.: UABC. Retrieved from <http://www.uabc.mx/planeacion/informe/informe2012/Informe2012.pdf>
- [5]. Ledezma, J. (2015). *Informe 2014* (No. 4) (p. 76). Tijuana, B.C.: UABC. Retrieved from http://www.tij.uabc.mx/campus/archivos/Informe%20VCT_2014.pdf
- [6]. Pérez-Morales, M. (2016). *Informe Campus Tijuana 2015* (No. 1) (p. 70). Tijuana, B.C.: UABC. Retrieved from http://www.tij.uabc.mx/campus/archivos/Informe%20VCT_2015.pdf
- [7]. Rogulski, Z., & Czerwiński, A. (2006). Used batteries collection and recycling in Poland. *Journal of Power Sources*, 159(1), 454–458. doi:10.1016/j.jpowsour.2006.02.034
- [8]. Bernardes, A. M., Espinosa, D. C. R., & Tenório, J. A. S. (2004). Recycling of batteries: a review of current processes and technologies. *Journal of Power Sources*, 130(1–2), 291–298. doi:10.1016/j.jpowsour.2003.12.026
- [9]. Rojas-Valencia, M. N., & Urquiza-Moreno, M. G. (2009). Aplicación de un método adecuado para recuperar los componentes de pilas eléctricas que pueden ser reutilizados. *Revista AIDIS de Ingeniería*

- y *Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, 1(4). Retrieved from <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/14475>
- [10]. D'Astous, A., Tirado, R. S., & Sigue, S. P. (2003). *Investigacion de Mercados*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
 - [11]. Guevara-García, J. A., & Montiel-Corona, V. (2012). Used battery collection in central Mexico: metal content, legislative/management situation and statistical analysis. *Journal of Environmental Management*, 95 Suppl, S154-157. doi:10.1016/j.jenvman.2010.09.019
 - [12]. Arrieta Patton, J., & Luján Pérez, M. (2007). Caracterización de la generación y evaluación de riesgos de las pilas y baterías en desuso en la Ciudad de Cochabamba. *Acta Nova*, 3(4), 627–660.
 - [13]. Pato, C., Ros, M., & Tamayo, A. (2005). Creencias y Comportamiento Ecológico: un estudio empírico con estudiantes brasileños. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*, 6(1), 5–22.
 - [14]. Tenório, J. A. S., & Espinosa, D. C. R. (2002). Recovery of Ni-based alloys from spent NiMH batteries. *Journal of Power Sources*, 108(1–2), 70–73. doi:10.1016/S0378-7753(02)00007-1
 - [15]. Moccia, A., Romero, C., Orta, R., & Delvasto, P. (2015). Caracterización fisicoquímica de los materiales activos presentes en pilas gastadas del tipo Ni-Cd segregadas de un lote de pilas desechadas en la ciudad de Caracas. *Avances en Química*, 10(1), 11–19.

Evaluación de la mineralización de dos plásticos mediante la norma internacional ASTM D5338

Itzel Rubi Jimenez Escamilla, Alethia Vázquez Morillas, Juan Carlos Alvarez Zeferino
Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, 5553182196 y al2112044641@alumnos.azc.uam.mx

Resumen

Los plásticos en la actualidad son los materiales más producidos a nivel mundial, sin embargo, esta producción está indudablemente asociada a una alta generación de residuos. Los residuos plásticos presentan baja biodegradación debido a que poseen altos pesos moleculares y alta hidrofobicidad, como solución a su impacto ambiental, se han producido plásticos biodegradables. En la actualidad existen normas internacionales para evaluar la biodegradación de plásticos en condiciones controladas de laboratorio. En el presente proyecto se evaluó el porcentaje de mineralización de dos plásticos, polietileno baja densidad, PEBD, y un plástico composteable, ECOVIO®. La evaluación se llevó a cabo bajo la norma ASTM D5338. El porcentaje de mineralización se evaluó durante 48 días bajo condiciones controladas de temperatura (58 °C), humedad (70%) y aireación. El plástico ECOVIO presentó el mayor porcentaje de mineralización, con un 9.75% mientras que para el PEBD se obtuvo un valor de 6.13%. El uso de plásticos biodegradables es una alternativa conveniente para la implementación de productos cotidianos, debido a su bajo impacto en el ambiente, sin embargo, esto ocurrirá sólo si tienen una gestión adecuada, que les permita llegar a un sistema de composteo.

Palabras Clave: *Biodegradación, respirometría, polietileno.*

1. Introducción

Los plásticos son materiales formados por cadenas de polímeros, los cuales están principalmente conformados de carbono e hidrogeno, sin embargo, también pueden contener oxígeno y nitrógeno[1]. Dentro de los plásticos existen tres clasificaciones, la primera son los elastómeros los cuales son plásticos de origen vegetal o sintéticos y pueden deformarse y regresar a su estado original sin sufrir cambios. Los segundos son los termofijos, son plásticos que no se deforman al aplicar calor, son rígidos y no pueden reciclarse directamente. Por último, los termoplásticos se procesan mediante el calentamiento del material para suavizarlo y moldearlo, posteriormente se deja enfriar y se endurece, por lo tanto, estos materiales pueden recuperarse para la implementación de nuevos materiales [2].

Los bioplásticos incluyen aquellos materiales que se generan con base en los recursos renovables de origen natural [3], empleados como alternativa para minimizar los residuos generados con materiales provenientes de recursos fósiles no renovables. Se dividen en tres grupos de origen: los primeros son los polímeros generados por biomasa como polisacáridos y proteínas, los segundos son proveniente de la síntesis química de los monómeros y por últimos los que se producen por medio de microorganismos, como ejemplos de bioplásticos se tiene la celulosa, el almidón, ácido poliláctico, polihidroxialcanoatos, poliamida y el bio-polietileno [4].

La biodegradación de los residuos se realiza mediante procesos biológicos que oxidan moléculas complejas a moléculas simples en la cual influyen factores como las características físicas, masa y estructura molecular, estos procesos pueden presentarse en condiciones aerobias o anaerobias. En los procesos aerobios los microorganismos requieren de oxígeno este reacciona con la materia orgánica generando un alto rendimiento de energía [5].

Existen diferentes métodos cuantitativos que determinan el porcentaje de biodegradación de plásticos, a través de reactores que simulan las condiciones favorables para su degradación como son temperatura, humedad y aireación. Estos métodos ayudan a estimar el tiempo que necesitan los plásticos para tener un

cambio en su estructura química o en compuestos aprovechables al ambiente. Esto se debe a la generación de CO₂ acumulado se relaciona con la biodegradación mediante la generación acumulada y la generación teórica de CO₂ la cual depende del porcentaje de carbono que contenta el plástico o la muestra a valorar[6].

En el presente proyecto se evaluó la biodegradación de dos plásticos: polietileno de baja densidad (PEBD) y ECOVIO® que es un plástico biodegradable, con base en la norma internacional ASTM D5338 [7].

2. Metodología

La experimentación se desarrolló en el Laboratorio de Tecnologías Sustentables de la UAM-Azcapotzalco.

2.1 Caracterización de inóculo

Se utilizó como inóculo composta madura, la cual se realizó por alumnos de la carrera Ingeniería Ambiental, con residuos de poda y jardinería generados en la misma institución, el tiempo en que se generó fue de cuatro meses. La composta se caracterizó para: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno. Además se realizó una prueba de micro elementos utilizando el kit HANNA y pruebas de fitotoxicidad con base en la norma ambiental del Distrito Federal para composta[8].

2.2. Caracterización y preparación de los plásticos

Los plásticos evaluados fueron: polietileno de baja densidad (PEBD), proporcionado por la empresa Plásticos Degradables S.A. de C.V. y un plástico biodegradable de la línea comercial de BASF, cuyo nombre comercial es ECOVIO®. Ambos plásticos fueron caracterizados para la determinación de nitrógeno y carbono orgánico. Las muestras de plástico se cortaron en cuadros de aproximadamente 2x2 centímetros como se muestra en la Figura 1.

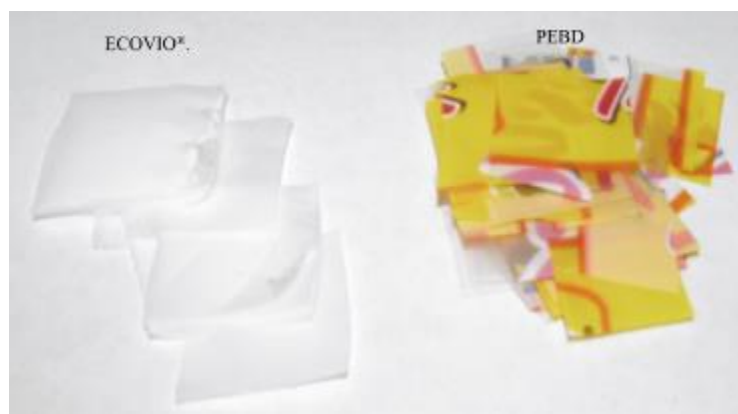


Figura 2. Muestras de plásticos cortados

2.3. Montaje de reactores

Como reactores se utilizaron porta filtros con una capacidad de 1.2 litros fabricados de polipropileno. Estos fueron adecuados para garantizar condiciones de hermeticidad. En cada reactor se agregó 200 g de composta ajustada a una humedad de 70%, posteriormente se le adicionó 10g de la muestra de plástico como se ilustra en la Figura 2. Además, como blanco positivo se utilizó celulosa.



Figura 3. Mezcla composta-plástico

2.4. Montaje del sistema

Los reactores se colocaron en un baño maría a 58°C y con una aireación continua. En la Figura 3 se muestra el sistema respirométrico utilizado el cual constó de las siguientes partes: primero se tenía una trampa de hidróxido de sodio para la retención de CO_2 , pasaba por una trampa de silica para la eliminación de humedad, posteriormente el aire entraba a los reactores y los gases generados del proceso pasaban a las trampas de silica e hidróxido de sodio.

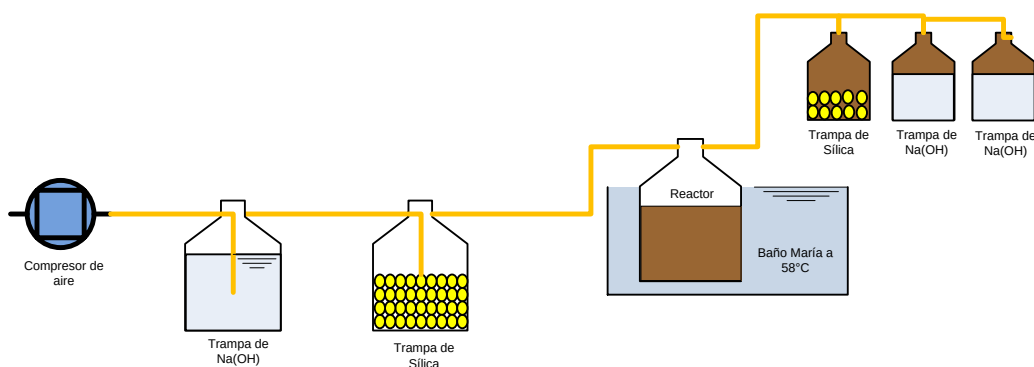


Figura 4. Sistema respirométrico

Las trampas de hidróxido de sodio 0.25 N fueron tituladas con una solución de ácido clorhídrico a 0.5 N y fenofaleína como indicador (vire rosa a transparente) mostrado en la Figura 4. Las titulaciones se realizaron diariamente durante los primeros quince días de experimentación y posterior mente cada tercer día.



Figura 5. Titulación de NaOH

La prueba duró 48 días y al finalizar los reactores fueron desmontados y se caracterizó la composta.

3. Resultados

La caracterización fisicoquímica de la composta al inicio de la experimentación se presenta en la Tabla 1. Los valores iniciales del inóculo cumplieron con los parámetros establecidos en la norma ASTM D5338-15[7], por lo que fue utilizada como inóculo para el sistema respirométrico.

Tabla 1. Caracterización de composta

Parámetros	Inicial
pH (unidades)	7.08
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	4.743
Materia orgánica (%)	50.302
Carbono orgánico (%)	27.945
Nitrógeno total (%)	1.194
C/N	24.444
Porcentaje de germinación relativa (%)	93.33
Fósforo	Alto
Potasio	Alto

En la Figura 5 se observa la mineralización acumulativa de los diferentes materiales. El reactor de celulosa presentó una tendencia característica de una cinética microbiana en donde se aprecia la fase de adaptación en el día 3, la fase exponencial se realiza del día 6 hasta el 30 y una fase estacionaria en el día 31, mientras que para los dos plásticos la biodegradación fue más lenta.

El mayor porcentaje de mineralización se obtuvo para el ECOVIO® con 9.75% mientras que el PEBD presentó un valor de 6.13%. La celulosa empleada como referencia se mineralizó en 28.09%. El experimento duró 48 días, sin embargo, se tiene la hipótesis de que si se aumentara el tiempo los porcentajes de mineralización aumentarían.

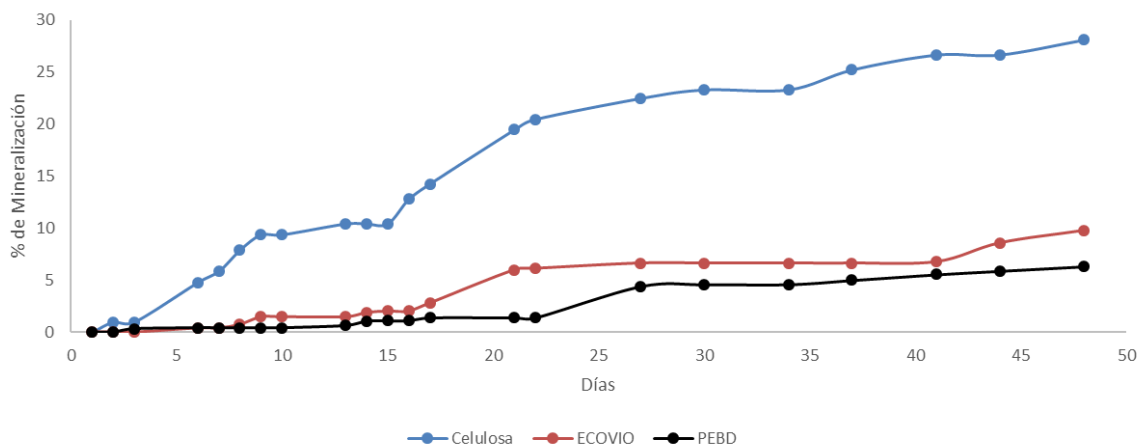


Figura 6. Porcentaje de mineralización

En el presente año se presentó previamente un estudio de mineralización en PEBD ocupando como control positivo celulosa, el cual presentó un porcentaje de mineralización del 13.48% en PEBD y el 58.45% en celulosa, las condiciones fueron similares al estudio expuesto las cuales se mantuvieron en un periodo de 180 días [9].

En relación a las dos pruebas realizadas se demuestra que PEDB presenta un bajo porcentaje en mineralización a diferencia de la celulosa que es un componente altamente biodegradable, siendo el PEDB un material altamente resistente al ambiente.

4. Conclusión

En este estudio se realizó el diseño de un sistema respirométrico donde se implementaron condiciones ambientales que simularán un proceso de composteo, logrando la degradación de los plásticos mediante condiciones aerobias.

Se obtuvieron valores de mineralización en plásticos del 9.75% en ECOVIO® y 6.13% en PEDB. Comparando ambos plásticos se observa que la muestra de ECOVIO® tiene una mayor susceptibilidad a la mineralización bajo condiciones controladas de composteo.

Los porcentajes de mineralización presentados en el estudio nos indican que el uso de los plásticos biodegradables es una alternativa viable, que ayudaría a minimizar la cantidad de residuos provenientes de recursos no renovables, los cuales contribuyen con la contaminación del ambiente. El uso de los plásticos biodegradables podría implementarse en algunos de los productos que se ocupan con frecuencia en la vida cotidiana, debido a que su presencia en el ambiente es corta. Sin embargo, este beneficio se observará sólo si los plásticos biodegradables llegan a un entorno de composteo, y no si se envían a un relleno, tiradero, o se disponen inadecuadamente. Por otro lado, es evidente que la presencia de los plásticos convencionales es persistente, teniendo un periodo más largo a diferencia de los plásticos biodegradables.

Referencias Bibliográficas

- [1] M. Jose, Introducción a la ciencia y tecnologías de los plásticos. Mexico: Trillas, 2010.
- [2] M. Cornish, EL ABC DE LOS PLÁSTICOS. 1997.
- [3] A. FERMAMDEZ, "Bioplásticos," Ambientum, Medio Ambiente - Revista, 2006. [Online]. Available: <http://www.ambientum.com/revistanueva/2006-07/bioplasticos.htm>. [Accessed: 05-Jun-2016].
- [4] R. R. Pacheco Gina, Flores NaydiaC., "Bioplásticos," Bio Tecnol., vol. 18, no. 2, 2014.
- [5] M. Stanley, Introducción a la química ambiental. España: UNAM, 2006.
- [6] Centro de información técnica, "Degradación de los materiales plásticos." , septiembre 2007. [Online]. Available: <http://ecoplas.org.ar/pdf/21.pdf>. [Accessed: 03-Jun-2016].
- [7] ASTM D5338-15, "Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Controlled Composting Conditions, Incorporating Thermophilic Temperatures," ASTM Int. West Conshohocken, PA, 2015.
- [8] SMADF (2012), "NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta," Secretaría del medio Ambiente del Distrito Federal, Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal del 30 de noviembre de 2012.
- [9] A. Vázquez-Morillas, M. Beltrán-Villavicencio, J. C. Alvarez-Zeferino, M. H. Osada-Velázquez, A. Moreno, L. Martínez, and J. M. Yañez, "Biodegradation and Ecotoxicity of Polyethylene Films Containing Pro-Oxidant Additive," J. Polym. Environ., Apr. 2016.

Desaprovechamiento de residuos reciclables del municipio de Zinacantepec

¹Isis Neftaly Martínez-Morales, ¹María del Consuelo Hernández-Berriel, Laura Verónica Díaz-Archundia, María del Consuelo Mañón-Salas, María del Carmen Carreño de León

¹Instituto Tecnológico de Toluca, Dirección: Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista C.P.52149, mherandezb@toluca.tecnm.mx, mirsolypel@yahoo.com.mx, Teléfono: 01722 208 7205

Resumen

En México uno de los problemas ambientales de mayor preocupación es el incremento en la generación de residuos sólidos urbanos (RSU), consecuencia del crecimiento poblacional y el cambio de las actividades socio-económicas. En el 2012 México tuvo una generación de 42,102, 750 t, siendo el Estado de México (EdoMex) uno de los estados de mayor contribución. Aunque existen medidas para su reutilización y/o reciclaje, como plantas de segregación o compostaje, el reciclaje en México sólo alcanza el 5%. El presente trabajo se realizó con el fin de determinar el nivel de desaprovechamiento de los RSU potencialmente reciclables del municipio de Zinacantepec y las diferencias existentes entre la generación en las casas-habitación y lo que llega al relleno sanitario (RESA) de dicho municipio. Para ello, los RSU fueron recolectados en casa-habitación y en los camiones provenientes del municipio mencionado y, se les realizó la caracterización fisicoquímica mediante la normatividad mexicana vigente. Se detectó el desaprovechamiento por parte del municipio del 24.04% de Reciclables Inorgánicos (Plásticos, Vidrio, Metal, Papel y Cartón) y de 47.11% de Reciclables Orgánicos. Existe una relación directa entre los Reciclables Orgánicos, el contenido de humedad y los sólidos volátiles. Los Reciclables Inorgánicos que ingresan al RESA son menores y sobre el 15% de los residuos no pueden ser aprovechados por su mezclado en los camiones recolectores. La entrega selectiva y la comercialización de Reciclables Inorgánicos podrían generar \$ 228,646.39 de ingresos semanales para el municipio y un ahorro de \$48.67% por su disposición en el RESA.

Palabras clave: *Aprovechamiento, composición, generación, generación per cápita, Residuos sólidos urbanos.*

1. Introducción

A nivel nacional la generación *per cápita* es de 1.0 kg/hab [1], la cual está unida al crecimiento poblacional y a los hábitos de consumo. En el año 2012 se generaron 42, 102, 750 t de residuos sólidos urbanos (RSU), sin embargo se tiene registro que en dicho año se contaban con 216 rellenos sanitarios (RESA), con tan sólo una capacidad para 27 979 450 t, en consecuencia el resto de los RSU fueron depositados en tiraderos a cielo abierto o en tiraderos de tierra controlado [2].

Es responsabilidad de los países, estados y municipios el contar con una adecuada gestión integral de residuos (GIR), esto mediante planes de manejo los cuales tiene como objetivo el minimizar la generación y maximizar la valorización de RSU [3], puesto que una inadecuada disposición da lugar a diferentes productos contaminantes. Dicha contaminación puede presentarse como: partículas de polvo, lixiviados y gases de efecto invernadero, los cuales al no ser tratados adecuadamente conllevan a enfermedades tanto en humanos como en animales y plantas, además de generación de flora y fauna nociva y contaminación de suelos, ríos y lagos. Para una adecuada implementación de una GIR se deben considerar las etapas: manejo y separación en la fuente, recolección, transferencia y transporte, separación, procesamiento y transformación, reciclaje, disposición final [4]. Aunado a esto se debe de contar con información confiable sobre la generación y la composición de los RSU, dicha información debe de ser obtenida a través de muestreos directos con sustento estadístico [5]. Entre los trabajos reportados de generación y composición de RSU se tiene el de Sánchez *et al.* [6], en donde indica que el 31% de los residuos del municipio de Chacao-Estado Miranda, Venezuela, incluida la parte húmeda, podría ser recuperado. Mientras que en

México destaca el estudio realizado en Xico, Veracruz por Castillo-Gonzales & De Medina-Salas [7], en el cual se detectó un potencial del 31.12% de materias reciclables no biodegradables, resultado que va de la mano del de Rivera-Valdovinos [8] en el municipio de Naucalpan, Estado de México, en donde encontró que cerca de una tercera parte de los RSU generados son rescatables para su re-uso y reciclaje. Además se tiene el estudio de Aguilar-Virgen [9] en Ensenada, Baja California, en el cual se halló que en el RESA de dicha ciudad se podría tener una ganancia de \$ 911 224.18 (novecientos once mil doscientos veinticuatro pesos 18/100 MN) por los residuos potencialmente reciclables.

La implementación de programas y tecnologías para el manejo eficiente y la transformación de los RSU dependen en gran medida del involucramiento de los diversos sectores de la sociedad [10]. El modelo de política que opera en México está dirigido en orden de prioridad a la disposición final, al tratamiento y al reciclaje; no incluye los puntos fundamentales de la reducción y la reutilización, para establecer una política de gestión adecuada para ellos [11]. La disminución de la calidad del medio ambiente tiene un costo económico para toda la sociedad, por lo que es necesaria una concientización ciudadana para evitarla [12].

Por lo que este estudio se centró en el municipio de Zinacantepec, el cual se encuentra a una altura que entre 2,750 y 3,200 m (sobre el nivel del mar), y está situado en la porción occidental del Valle de Toluca a los 19°17'00" de latitud norte y a los 99°44'00" de longitud oeste del meridiano de Greenwich y cuenta con una extensión territorial de 30, 918.10 hectáreas. En el año 2015 tenía una población de 188,927 habitantes, 44,258 casas habitadas y una generación de RSU de 63.18 t/d por municipio para dicho año [13] [14]. La recolección de RSU comprende a todas las localidades, sin embargo la falta de una GIR que involucre el reciclaje formal y la separación selectiva, contribuye a que el volumen de generado sea mayor además de que no son separados en la fuente por lo que no han podido ser aprovechados para la regeneración de suelos en el entorno de RESA o inclusive en otras zonas del municipio [14].

El objetivo de este estudio fue determinar el nivel de desaprovechamiento de los RSU potencialmente reciclables del municipio de Zinacantepec y las diferencias existentes entre la generación en las casas-habitación y lo que llega al RESA de dicho municipio.

2. Metodología

2.1 Tamaño de muestra

Para delimitar el tamaño de muestra referente a las casas habitación se revisó la Gaceta del Gobierno del Estado de México No. 121 [15], está divide al Municipio de Zinacantepec en cinco estratos socio-económicos: Social progresivo, Interés social, Popular, Residencial baja, Residencial Media, Residencial Alta con base a la tarifa de agua potable. Aunado a esto se consultó el estudio elaborado por la empresa MASERA S.A de C.V., en el cual se dividió al municipio en dos estratos [16]. De acuerdo a las autoridades municipales y por la diferencia de estratos estudiados se decidió considerar para este trabajo tres estratos: Alto, Medio y Bajo. Debido a la falta de información sobre el número de casas por estrato y con el fin de contar con un punto de comparación con el estudio realizado por la empresa MASERA S.A de C.V. se estableció 60 casas habitación por estrato.

El tamaño de muestra para los camiones a caracterizar se estimó considerando el número de camiones que ingresan al RESA de Zinacantepec. Para ello, a la empresa encargada de este RESA se le solicitó información del ingreso semanal de camiones, tanto del municipio como privados y, mediante la estadística se determinó una muestra de 56 camiones. Se tomó la decisión de muestrear durante una semana completa (lunes a domingo) los primeros ocho camiones que ingresaron del municipio de Zinacantepec, así como identificar la zona del municipio del que habían recolectado RSU.

2.2. Cuantificación y caracterización

2.2.1 Cuantificación y caracterización en casa-habitación

En las casas que accedieron a participar se llevó a cabo la aplicación de la norma mexicana NMX-AA-61-1985, la cual consistió en la recolección de los RSU durante ocho días. Para asegurar que no hubiera residuos de días anteriores se consideró un día denominado limpieza (primer día), muestra que no se contabilizó.

Para llevar a cabo la recolección y traslado al RESA, el Ayuntamiento de Zinacantepec proporcionó una camioneta de redilas. Dentro de dicho RESA se realizaron las actividades de cuarteo, peso volumétrico, segregación y pesaje de los subproductos, de acuerdo a las normas mexicanas NMX-AA-15-1985, NMX-AA-19-1985 y NMX-AA-22-1985 respectivamente [17].

2.2.2 Cuantificación y caracterización en RESA

De cada uno de los ocho camiones muestreados diariamente se tomaron 50 kg aproximadamente de RSU, formando así ocho pilas, a las cuales se les aplicaron también las normas NMX-AA-15-1985, NMX-AA-19-1985 y NMX-AA-22-1985 [18] para la caracterización de subproductos.

A las muestras de casa-habitación y de los camiones seleccionados se les determinó también pH, contenido de humedad base humedad (Hbh), Sólidos Totales Volátiles (SVT) y Materia Orgánica (MO), de acuerdo a las normas NMX-AA-013-SCFI-2006, NMX-AA-16-1984, Método 2540G y NMX-AA-021-1981 respectivamente [17] [18].

2.3 Estimación de costos

Para llevar a cabo el análisis de estimación de costos se consideraron solo aquellos que comprenden la recolección, el traslado y la disposición final, además del valor promedio de compra de los reciclables. Cabe mencionar que actualmente el municipio de Zinacantepec eroga gastos de recolección, traslado y disposición final, sin embargo dicha información no fue proporcionada, por lo que se consideró lo reportado en el "Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010" [19], donde se menciona un costo unitario promedio de US\$34.22 por tonelada recolectada, US\$12.01 por tonelada transportada y US\$20.43 por tonelada dispuesta, lo cual suma US\$66.66 por tonelada de RSU desde casa habitación hasta el RESA (ch-RESA). Conforme a ello el costo semanal se estimó con la ecuación 1.

Costo semanal ch-RESA (MN\$/semana) =

$$\text{RSU generados/semana} * \text{US\$66.66} * 18.47 \text{ (MN\$/US\$)} \quad (1)$$

Para los precios de los Reciclables Inorgánicos (papel, vidrio, plástico rígido, cartón, latas, metales no ferrosos y ferrosos) se visitó a tres centros de acopio cercanos al RESA de Zinacantepec y se consultó información de internet [20]. En la Tabla 1 se presentan los precios promedios obtenidos. Con estos valores se estimó el total de ingresos que podría tener el municipio por su venta (Ecuación 2). Considerando que se lograra establecer una recolección selectiva en casa habitación, donde los pobladores de Zinacantepec realizaran la separación en la fuente, también se debe tomar en cuenta el costo del transporte de los reciclables a los centros de acopio, en donde este costo se estimó mediante la ecuación 3.

Tabla 1. Precios de materiales potencialmente reciclables

SUBPRODUCTO	PRECIO PROMEDIO (MN\$/kg)	PRECIO PROMEDIO (MN\$/t)
Papel	3.00	3,000.00
Vidrio	0.60	6,00.00
Plástico	3.00	3,000.00
Cartón	2.00	2,000.00
Latas	1.00	1,000.00
Metal No Ferroso	1.00	1,000.00
Metal Ferroso	2.00	2,000.00

$$\text{Ingresos Venta Reciclables Inorgánicos Semanal (MN$/semana)} = \sum \text{Reciclables Inorgánicos (t/semana)} * \text{Precio de venta (MN$/t)} \quad (2)$$

$$\text{Costos Transporte Reciclables Inorgánicos (MN$/semana)} = \text{Reciclables Inorgánicos (t/semana)} * \text{Costo recolección y transporte (34.22 +12.01 (US$/t)) * 18.47 (MN$/US$)} \quad (3)$$

3. Resultados y discusión.

3.1 Cuantificación y caracterización físico-química

En la tabla 2 se concentran los valores promedios determinados para cada uno de los tres estratos del municipio de Zinacantepec, Edo. de México, así como un promedio general para dicho municipio. Cabe mencionar que para determinar el porcentaje de Reciclables Inorgánicos se sumó el porcentaje de cada uno de los subproductos Papel y Cartón, Plástico, Vidrio y Metales; mientras que los Reciclables Orgánicos comprenden Hueso, Madera, Residuos de Comida y Residuos de Jardinería. En los subproductos denominados Otros se incluyen Algodón, Cuero, Residuos Fino, Electrónicos, Fibra Dura, Fibra Sintética, Hule, Higiénico, Loza y Cerámica, Material de Construcción, Pañal Desechable, Poliuretano, Poliestireno Expandido, Trapo y Varios. Cada uno de los subproductos mencionados son los denominados de manera independiente en la NMX-AA-22-1985 [17].

El estrato Alto fue el que mayor cantidad de RSU *per cápita* generó (Tabla 2), de manera similar a lo reportado por el estudio realizado en Veracruz por Castillo-Gonzales & De Medina-Salas [7]. En cuanto al Peso volumétrico y a los residuos Reciclables Orgánicos, se detectó que se encuentran en relación inversa con el poder socioeconómico de los estratos. El estrato Bajo fue el que mayor porcentaje produjo de Reciclables Orgánicos y Otros residuos.

Estimando un promedio general con los tres estratos se obtuvo que el potencial de Reciclables Inorgánicos supera la tercera parte de los RSU (Tabla 2), lo cual si se aprovechara junto con los Reciclables Orgánicos, contribuiría a que no se dispusieran en el RESA sobre el 79% de los RSU generados en el municipio, con lo que la vida útil de éste se prolongaría y la generación de gases de efecto invernadero se reducirían, beneficiando directa e indirectamente a la salud pública [21].

Comparando la caracterización física promedio de casa-habitación (Figura 1) con la caracterización en los camiones que ingresan al RESA (Figura 2), se detectó una diferencia de 17 unidades porcentuales en los Reciclables Orgánicos (Tabla 2). Además se observó un aumento en la categoría Otros de 20% a 36% y en Papel y Cartón de 10% a 16%. Es importante resaltar que en la categoría Otros, los subproductos en casas-habitación y camiones con mayor porcentaje fueron Pañal Desechable (7.83% y 8.52% respectivamente) y Varios (5.40% y 6.79% respectivamente). Los porcentajes determinados para Varios son similares a los reportados por Saldaña- Durán *et al.* [22], donde el que sea mayor la proporción en los camiones se puede atribuir a la compactación que sufren los RSU en los mismos, lo que dificulta la separación posterior.

Tabla 2. Cuantificación y caracterización física promedio de Zinacantepec

Estrato	Generación per cápita (kg/ha-d)	Peso volumétrico (kg/L)	Reciclables Orgánicos (%)	Reciclables Inorgánicos (%)	Otros (%)
Alto	0.450	0.203	44.19	36.41	19.05
Medio	0.349	0.205	47.38	32.77	19.67
Bajo	0.226	0.217	49.75	28.60	21.30
Promedio general	0.340	0.208	47.11	32.59	20.01
Camiones	----	0.354	29.74	34.22	35.84

Dentro de los Reciclables Inorgánicos se encontraron diferencias entre casa-habitación y los camiones; donde para casa-habitación de PET y HDPE se obtuvo 7.09% y para plástico de película fue 6.7%; mientras que del muestreo en camiones se encontró una proporción de 9.98% para el plástico de película y para PET y HDPE un 3.40%.

El descenso global detectado de Plásticos, Vidrio y Metales (de 22% a 18%) es indicio de que los empleados del servicio de limpia del municipio de Zinacantepec realizan segregación de éstos para su comercialización en el trayecto al RESA.

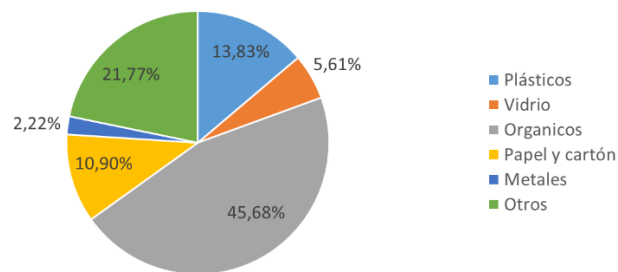


Figura1. Caracterización casa-habitación

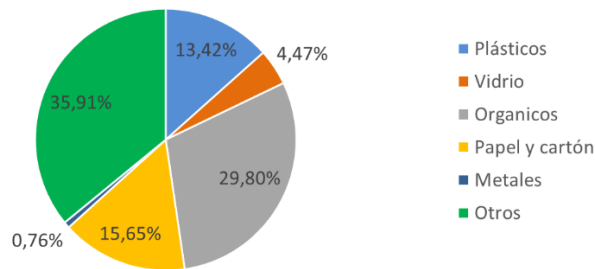


Figura 2. Caracterización camiones

La tabla 3 presenta los resultados del análisis químico, donde se puede observar que el contenido de humedad está en relación directa con los SVT y MO, lo cual es congruente con los Reciclables Orgánicos encontrados en la caracterización física [6]; en el caso del estrato Alto la humedad es la de menor valor y su contenido de Reciclables Inorgánicos es el mayor (Tabla 2).

Comparando las propiedades fisicoquímicas entre los camiones con el promedio general de los estratos (Tabla 3), el pH es solo 0.7 mayor y la Humedad es 3.9% menor en los RSU muestreados en los camiones; esto último puede atribuirse a que los RSU pierden humedad mientras transitan de las casas-habitación

(fuente) al RESA. En cuanto a SVT y MO, sus valores fueron mayores, debido al incremento en la proporción física de los residuos Otros y Papel y Cartón (Figuras 1 y 2).

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas de RSU recolectados

LUGAR	ESTRATO	pH	HÚMEDAD (%Hbh)	SVT (%)	MO (%)
Casa-habitación	Alto	6.38	26.16	77.67	37.19
	Medio	6.55	31.26	81.02	39.21
	Bajo	6.15	61.50	87.87	46.79
	Promedio general	6.36	39.64	82.19	41.06
RESA	Camiones	7.09	35.65	85.31	43.08

3.2 Estimación de costos

Considerando una población de 188,927 habitantes en el municipio de Zinacantepec en 2015 [13] y una generación promedio de 0.340 kg/hab-d (Tabla 2), la generación semanal de RSU se estimó de 449.65 t. De acuerdo con la ecuación 1 se obtuvo un costo semanal de \$ 553,613.06 (quinientos cincuenta y tres mil seiscientos trece pesos 06/100 MN) para los RSU desde ch-RESA, costo que se estima debe estar erogando el municipio de Zinacantepec.

Si existiera una aprovechamiento de Reciclables Inorgánicos, los ingresos semanales para el municipio estimados con la ecuación 2 y detallados en la tabla 4 serían de \$ 228,646.39 (doscientos veintiocho mil seiscientos cuarenta y seis 39/100 MN).

Tabla 4. Potencial económico de residuos recuperables no biodegradables de casa-habitación

SUBPRODUCTOS	PRECIO (\$/t)	PORCENTAJE RSU	RECICLABLES INORGÁNICOS (t/semana)	INGRESOS (\$/semana)
Papel	3000.00	5.48%	24.64	73,926.33
Vidrio	600.00	5.61%	25.22	15,129.89
Plástico	3000.00	7.09%	31.88	95,639.76
Cartón	2000.00	3.64%	16.37	32,734.25
Latas	1000.00	1.37%	6.18	61,76.97
Metal No Ferroso	1000.00	0.57%	2.56	2,559.20
Metal Ferroso	2000.00	0.28%	1.24	2,479.99
Total	-----	24.04%	108.08	228,646.39

Considerando el transporte para las 108.08 t/semanales de Reciclables Inorgánicos, mediante la ecuación 3 se obtuvo un costo de \$ 92,288.06 (noventa y dos mil doscientos ochenta y seis pesos 06/100 MN), los cuales al no ser depositados en el RESA (US\$20.43 por tonelada dispuesta) generarían un ahorro de \$ 40,783.14 (cuarenta mil setecientos ochenta y tres pesos 14/100 MN).

Conforme a lo anterior y a que todavía 341,57 t/semana de RSU tendría que ser recolectadas, transportadas y dispuestas en el RESA con un costo de \$420,537.65 (cuatrocientos veinte mil quinientos treinta y siete pesos 65/100 MN), el gasto que tendría el municipio de Zinacantepec sería de \$ 512,830.53 en lugar de \$ 553,613. 67, con un ingreso de \$228,646.39, por lo que su gasto bruto (GB) sería de sólo \$ 284,184.14 como se desglosa a continuación, lo cual representaría un ahorro del 48.67% (\$ 269,429.53; doscientos sesenta y nueve mil cuatrocientos veinte nueve pesos 53/100):

$$GB = \$420, 537.65 + \$92,288.06 - \$228,646.39 = \$ 284,184.14$$

Si bien lo anterior es un tanto burdo y no contempla otros gastos como el incremento del parque vehicular para la recolección diferenciada, pone en sobre relieve que la separación en casa habitación es un área de oportunidad para el municipio de Zinacantepec, donde el aprovechamiento de los Reciclables Inorgánicos puede tener un ahorro interesante tanto de gasto como de RSU que no llegarían al RESA. Cabe mencionar que países como Alemania han apostado desde 1970 por la reducción de la generación de RSU y la mejora de métodos relacionados a la eliminación segura de éstos, mediante programas que comprenden desde la separación en la fuente hasta incentivos, logrando en el 2010 un 62% de reciclado y pretenden llegar al cero por ciento para el 2020 [23]. Por su parte en México los Estados que cuentan con programas exitosos de recolección selectiva son Querétaro (57%), Jalisco (40%) y Nuevo León (30%) [24].

Conclusiones

- El 47.11% de Reciclables Orgánicos podrían ser utilizados para composta, lo que reduciría el costo de disposición en el RESA y la generación de metano a mediano y largo plazo.
- El decremento en los porcentajes de Plásticos, Vidrio y Metales entre las caracterizaciones de casa-habitación y camiones es un claro indicio de que existe segregación por parte del personal municipal de recolección de RSU.
- Existe una relación directa entre los estratos socio-económicos Alto, Medio y Bajo, con respecto a la generación de RSU y en especial a la proporción de Residuos Reciclables; y en cuanto a los Residuos Orgánicos se corrobora la relación directa con el Peso volumétrico, la MO y los SVT en los RSU caracterizados.
- Si bien la implementación de la recolección selectiva de RSU requiere un análisis mayor, las estimaciones realizadas en este trabajo muestran que la venta de Reciclables Inorgánicos es un área de oportunidad para el municipio de Zinacantepec, que podría representar un ahorro de hasta el 48.67%.

Referencias

- [1] SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente) (2016). Residuos Sólidos Urbanos: La otra cara de la basura. En línea: <https://www.gob.mx/semarnat/galerias/residuos-solidos-urbanos-la-otra-cara-de-la-basura-18815>.
- [2] SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente) (2014). Residuos Sólidos Urbanos. El Medio Ambiente en México. En línea: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_1.html.
- [3] SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2012). Diagnostico Básico para la Gestión Integral de Residuos. En línea: http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcnica/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf.
- [4] GYUC (Gobierno de Yucatán). (2009). Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012. En línea: http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/gestionresiduos/pepgir_yucatan.pdf.
- [5] González C. y Buentrostro O. (2012). Urban solid waste composition in two sites of confinement. Rev. Int. Contam. Ambie. 28. págs.13-18.
- [6] Sánchez R., Blanco-Salas H., Alberdi R, Najul M.V. (2014). Potencial de aprovechamiento de los materiales presentes en los residuos sólidos de origen doméstico. Caso de estudio Municipio Chacao-Estado Miranda, Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 29, N° 1. págs. 27-36.
- [7] Castillo-Gonzales, E., De Medina-Salas, L. (2014). Generación y Composición de Residuos Sólidos Domésticos en Localidades Urbanas Pequeñas en el Estado de Veracruz, México. Rev. Int. Contam. Ambie. 30. págs.81-90.
- [8] Rivera-Valdovinos L. (2013). Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos potencialmente valorizables en Naucalpan de Juárez, Estado de México. VISIR-REDISA. págs. 1-6.

- [9] Aguilar-Virgen Q. Armijo-de Vega C. Taboada-González P. M. Aguilar Xochitl. (2010). Potencial de recuperación de residuos sólidos domésticos dispuestos en un relleno sanitario. *Revista de Ingeniería* núm. 32, Julio-diciembre. págs. 16-27.
- [10] Ay-Robertos, F.A.; Brinckmann ,W.E; Trujillo-Ayllón, M.T. (2010). Disposición final de residuos sólidos en los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres en Quintana Roo. *Ingeniería..* págs. 197-207.
- [11] Berrón Ferrer, Gerardo E. (2002). Aspectos básicos de una política para una gestión adecuada de residuos sólidos urbanos (RSU). *Ingeniería Revista Académica* vi (2). págs. 51-57.
- [12] Márquez-Gozanlez A., Ramo-Pantoja Ma., Mondragón-Jaimes V. (2013). Percepción ciudadana del manejo de residuos sólidos municipales. El caso Riviera Nayarit. *Región y sociedad*, Año XXV, no. 58. págs. 1-35.
- [13] INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2016). Encuesta Intercensal 2015. En línea <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/default.aspx?c=33725&s=est>.
- [14] GEM (Gobierno del Estado de México). Gaceta del Gobierno No. 18, Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Zinacantepec, México. Estado de México, 24 de Julio de 2015. En línea.
- [15] GEM (Gobierno del Estado de México). (2014). Gaceta de Gobierno No. 121 de agua potable, drenaje, saneamiento, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales. Estado de México. 18 de diciembre de 2014. En línea
- [16] MASERA (Mantenimientos y Servicios Ambientales). (2007). Proyecto Ejecutivo para el saneamiento y construcción de dos celdas de disposición final de residuos sólidos urbanos en el municipio de Zinacantepec, Edo. de Méx. Ejido San Luis Mextepec. pág.217.
- [17] SEMARNAT. (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2016). Normas Mexicanas en materia de contaminación de suelo. En línea: <http://caem.edomex.gob.mx/sites/caem.edomex.gob.mx/files/files/TramitesServicios/Tarifas2015/Zinacantepec2015.pdf>.
- [18] APHA 2005 Standard Methods for Water and Wastewater examinationm 21st ed. American Republic Health Association-American Water Works Association, Water Envionment Federatio Publication, Washington, DC. USA.
- [19] Tello-Espinoza P. Martínez-Arce E. Daza D. Soulier-Faure M. Terraza H. (2010). Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010. Banco Interamericano de Desarrollo. págs 164. En línea. <https://publications.iadb.org/>
- [20] Del Castillo A. (2015). Los diez productos para reciclar mejor pagados. *El Informador*. México. En línea. <http://www.informador.com.mx/suplementos/2015/593073/6/los-diez-productos-para-reciclar-mejor-pagados.htm>
- [21] Köfalusi-Kiss G. Encarnación-Aguilar G. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta Ecológica* 79 Instituto Nacional de Ecología. págs. 39-51.
- [22] Saldaña-Durán C. Hernández-Rosales P. Messina-Fernandez S. Pérez-Pimienta J. (2013). Caracterización física de los residuos sólidos urbanos y el valor agregado de los materiales recuperables en el vertedero el Iztete de Tepic-Nayarit, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29 (Sup. 3). págs. 25-32.
- [23] Fischer C. (2013). Municipal waste management in Germany. *European Environment Agency*. págs 18.
- [24] Jiménez-Martínez N. M. (2015). La gestión Integral de los residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Letras Verdes, Revista Internacional de Estudios Socioambientales* No. 17. págs. 29-56.

Efecto de la extracción orgánica en la determinación de holocelulosa en rastrojos agrícolas

¹Julio César Gómora-Hernández, ¹María del Consuelo Hernández Berriel, ¹María del Carmen Carreño de León, ¹María del Consuelo Mañón Salas

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, México. Lázaro Cárdenas, Colonia: Llano Grande, Metepec, México. C.P. 52148. Teléfono: 01(722) 2087200 (ext. 3630). (hberriel_1999@yahoo.com)

Resumen

La determinación de lignina (Li) y más aún de holocelulosa (Ho) en rastrojos agrícolas es importante en procesos biotecnológicos como en la producción de combustibles, fármacos, plásticos y sistemas de sacarificado e hidrólisis. Con el fin de eliminar terpenos, clorofila, alcoholes y resinas, dichas determinaciones requieren una etapa previa de extracción orgánica (ExOr), lo cual incrementa el costo y el tiempo de análisis. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la ExOr sobre la determinación de Ho en rastrojos de maíz y haba, antes y después de una hidrólisis ácida. Para ello se obtuvieron muestras de cultivos del Valle de Toluca, las cuales se hidrolizaron con H_3PO_4 al 3%v y 100°C. A las muestras vírgenes (no hidrolizadas) e hidrolizadas con y sin ExOr (ASTM D1105-56) se les determinó su contenido de Ho (método del clorito) y la determinación de Li se llevó a cabo únicamente en el rastrojo sin hidrolizar. Las muestras vírgenes de rastrojo de maíz presentaron 7.8%Ho y 1.9%Li de diferencia absoluta entre sus valores con y sin ExOr y las muestras hidrolizadas tuvieron 1.7%Ho, mientras que las muestras vírgenes de tallo de haba tuvieron 8.4%Ho y 2.2%Li, y las hidrolizadas 1.9%Ho. Las diferencias observadas en las muestras vírgenes de ambos rastrojos se atribuyen a la presencia de flavonoides y terpenos detectados mediante IR antes de la ExOr. No se encontraron diferencias significativas en las cuantificaciones de Ho en muestras hidrolizadas, evidenciando que la ExOr no es necesaria para analizar rastrojos agrícolas después del tratamiento ácido.

Palabras Clave: *Análisis IR, hidrólisis ácida, método del clorito, reflujo soxhlet, Residuos de haba*

1. Introducción

En China el maíz ha alcanzado producciones 1.2 billones de toneladas anuales [1], mientras que en México es uno de los cultivos principales, con una producción neta de 20, 142,186 ton/año [2]. La mayor parte de los residuos agrícolas (RA) pueden ser utilizados para la producción de biocombustibles. Países como India, Taiwán, China e Irlanda utilizan los residuos provenientes de las cosechas de arroz, trigo, papa, maíz y pasto para la producción de bioetanol [3].

El Estado de México es rico en diversidad climática, lo cual permite la proliferación de una gran cantidad de especies vegetales y animales. Entre los cultivos más importantes a nivel estatal se encuentran: maíz, haba, chícharo, tuna, durazno y avena [2], sin embargo, los residuos de las cosechas generalmente son quemados propiciando la contaminación atmosférica por la emisión de gases de efecto invernadero, además de la proliferación de plagas atribuida al mal manejo de los residuos.

El cultivo de haba en el Estado de México contribuye con el 55% (32,033 ton) de la producción anual total [2]. Los residuos generados durante la cosecha del haba y del maíz son hojas, tallos y cáscaras, los cuales tienen un alto contenido de lignocelulosa, que es incapaz de ser metabolizada por los microorganismos [4] y están compuestos principalmente por lignina (Li), celulosa y hemicelulosa [5].

La biomasa lignocelulósica es el material orgánico abundante presente en la pared celular de las plantas que puede ser utilizado para la producción de biogás, biodiesel y bioenergía [6]. Tiene una producción anual global de más de 200 billones de toneladas métricas base seca y corresponde a los residuos forestales, agrícolas, orgánicos y de la industria del papel y comida [7]. El material orgánico de lignocelulosa está

compuesto principalmente por los biopolímeros celulosa y hemicelulosa, los cuales son matrices de homo y heterosacáridos que poseen diferentes propiedades, grados de cristalinidad y composición dependiendo del tipo, especie y recurso de biomasa [8]. La determinación de celulosa, hemicelulosa y Li en materiales con alto contenido de lignocelulosa es importante en procesos biotecnológicos que involucran la conversión de los polisacáridos a monosacáridos y a compuestos de valor agregado. Uno de los métodos más empleados para la determinación de carbohidratos en materia lignocelulósica es el desarrollado por la institución estadounidense conocida como Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL por sus siglas en inglés) [9], sin embargo, pese a su exactitud y caracterización en términos de monosacáridos, requiere de una etapa previa de eliminación de extractivos, que incrementa el costo y tiempo de análisis.

La extracción con solventes poco polares como el etanol y el tolueno, mejor conocida como extracción orgánica (ExOr), ha sido reportada por Colín-Urieta *et al.* [10] como una etapa previa a la determinación de holocelulosa (Ho) y Li, la cual tiene la finalidad de eliminar compuestos intermediarios tales como clorofila, resinas, terpenos y aceites que afectan la cuantificación de carbohidratos en biomasa lignocelulósica (muestra virgen). En contra parte, Vasconcelos *et al.* [11], quienes estudiaron la hidrólisis ácida de bagazo de caña con H_3PO_4 observaron que el tratamiento ácido además de monomerizar azúcares, contribuye a la eliminación de los compuestos extractivos.

Debido al gasto y tiempo adicional que requiere la etapa de ExOr, así como a la falta de información del tallo de haba y del rastrojo de maíz en presencia de solventes polares, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la ExOr sobre la determinación de Ho en rastrojos vírgenes (sin hidrolizar) e hidrolizados de haba y de maíz, al mismo tiempo se analizan los cambios a nivel molecular mediante espectroscopia de IR.

2. Metodología

2.1 Obtención y caracterización de materia prima

Los RA de haba y maíz se obtuvieron de cultivos propios del municipio de Xalatlaco, Estado de México, seleccionando aquellos que no tuvieron contacto con desecadores ni plaguicidas. Los residuos se secaron a temperatura ambiente, una vez secos, se trituraron con ayuda de un molino mecánico marca “Azteca” hasta un tamaño de partícula menor a 250 μm y se almacenaron en recipientes herméticos hasta su uso.

El contenido de humedad y de sólidos volátiles totales (SVT's) se determinó mediante gravimetría utilizando las técnicas establecidas por la normativa mexicana [12] y por el Standard Methods [13] respectivamente. El método del clorito expuesto primeramente por Wise *et al.* [14] fue empleado para la cuantificación de Ho, mientras que la Li se determinó a través del método ASTM D1106-56 reportado por Colín-Urieta [10]. La determinación de Ho y Li en rastrojos vírgenes (no hidrolizados) se llevó a cabo con y sin ExOr y, se determinó su diferencia. La Tabla 1 resume las técnicas empleadas para la caracterización inicial de los rastrojos.

Tabla 1. Técnicas empleadas para la caracterización de los residuos agrícolas

Técnica	Referencia
Humedad	NMX-AA-016-1984 [12]
pH	NMX-AA-008-SCFI-2011 [12]
SVT's	Técnica 2540G del Standard Methods [13]
Ho	Método del clorito [14]
Li y extractivos	Método ASTM D1106-56 [10]
Enlaces y carbohidratos	Espectroscopia de IR

2.2. Hidrólisis ácida y determinación de holocelulosa

La hidrólisis ácida se llevó a cabo por cuadruplicado mediante la adición de 75 mL de H_3PO_4 al 3%v a 5 g de rastrojo con tamaño de partícula menor a 250 μm en frascos herméticos de 140 mL, los cuales se colocaron en un horno y se dejaron reaccionar durante 30, 60, 90 y 120 minutos. Al término de la hidrólisis, las fases se separaron mediante filtración y los sólidos remanentes se lavaron con agua destilada a 75°C hasta pH neutro, posteriormente se secaron en una estufa a 45°C y se pesaron. Dos muestras de cada uno de los tiempos fueron sometidas a ExOr de acuerdo a la metodología reportada por Colín-Urieta [10], después se enjuagaron en reflujo con agua destilada durante 4 horas y se secaron. Las muestras con y sin ExOr fueron empleadas para determinar su contenido de Ho por duplicado, al mismo tiempo, se analizaron mediante espectroscopia de IR en un espectrómetro marca “Varian 640” utilizando un rango espectral de 500 a 4000 cm^{-1} y una resolución de 4 cm^{-1} . La diferencia de medias entre los porcentajes de Ho obtenidos con y sin ExOr se determinó mediante t-Student utilizando SPSS versión 13.

2.3. Cinética de descomposición de holocelulosa

Con ayuda de los porcentajes de Ho y de las masas remanentes del proceso de hidrólisis, se determinó la cantidad de sólido hidrolizado, la masa de Ho transformada y se ajustó su degradación al modelo cinético de primer orden, el cual está dado por la ecuación 1 y 2, en donde “a” y “(a-x)” son respectivamente la masa inicial de Ho y la masa de Ho a un tiempo determinado. Para el ajuste lineal de la ecuación cinética se utilizó el software Origin 8.6.

$$\frac{d_x}{d_t} = k_1(a - x) \quad (1)$$

$$\ln \frac{a}{a - x} = k_1 t \quad (2)$$

3. Resultados y discusión

En el presente apartado se presentan y se discuten las diferencias en la determinación de Ho atribuidas a la ExOr en muestras vírgenes e hidrolizadas de tallo de haba y de rastrojo de maíz, así como un análisis IR de los residuos con y sin ExOR. Finalmente se presenta la degradación de Ho en función del tiempo de contacto y su ajuste a un modelo cinético de primer orden.

3.1. Caracterización de los residuos agrícolas

Los residuos de haba recuperados fueron clasificados en 2 grupos: hojas y tallo; donde este último fue utilizado como materia prima, debido a que se encontró mayormente (77% base seca). Por otra parte, debido a la predominancia del olote, el rastrojo de maíz se clasificó en rastrojo y olote. La Tabla 2 resume la caracterización de los RA antes de la hidrólisis ácida, los porcentajes de Ho y Li fueron calculados en muestras libres de extractivos.

Tabla 2. Caracterización de los rastrojos vírgenes

Análisis	Olote	Rastrojo de maíz	Tallo de haba
Humedad (%Hbh)	4.52 ± 0.15%	4.40 ± 0.23%	3.27 ± 0.11%
SVT (%bs)	96.96 ± 0.07%	87.25 ± 0.47%	92.18 ± 0.18%
Ho (%bs)	65.38 ± 0.11%	64.17 ± 0.66%	61.48 ± 0.30%
Li (%bs)	7.11 ± 0.47	16.33 ± 0.11%	12.16 ± 0.66%
pH	5.63 ± 0.005	6.77 ± 0.053	5.60 ± 0.013

%Hbh, Porcentaje base húmeda; %bs, Porcentaje base seca.

Los pH determinados en el olote y en el tallo de haba resultaron similares entre sí, por otra parte, el mayor contenido de Ho se observó en el olote alcanzando un promedio de 65.38%, valor que resultó muy cercano al determinado en el rastrojo de maíz (64.17%), pese a que el tallo de haba fue el rastrojo con menor porcentaje de Ho en comparación con lo reportado por Petersson *et al.* [15] resultó mayor, ya que ellos encontraron un porcentaje en base seca aproximado a 48.8%. Por otra parte, la Li en el tallo de haba fue de 12.16%, valor que va de la mano con el 14.4% determinado también por Petersson *et al.* [15].

El rastrojo de maíz empleado por Cao *et al.* [4] para la recuperación de sacáridos a partir de H₂SO₄, estaba conformado principalmente por Ho y Li alcanzando porcentajes de 61.1% y 19.1% respectivamente, dichas fracciones másicas resultaron similares a lo obtenido en el presente trabajo (Tabla 2). Por otro lado, la composición del olote puede compararse con lo determinado por Li *et al.* [5], quienes encontraron un porcentaje respectivo de 68.2% y 15.4% para la Ho y Li, la diferencia en el porcentaje de Li con el 7.11% mostrado en la Tabla 2 pueden atribuirse a la naturaleza del olote. Finalmente, el porcentaje de SVT's de cada uno de los rastrojos fue superior a 85%, lo cual indica una cantidad mínima de minerales y cenizas.

3.2. Efecto de la extracción orgánica en rastrojo virgen

Para evaluar el efecto de la ExOr sobre la determinación de Ho y Li se contrastaron los porcentajes obtenidos en muestras vírgenes de tallo de haba, olote y rastrojo de maíz. La Tabla 3 resume los porcentajes base seca de Ho y Li obtenidos en muestras con y sin ExOr.

Tabla 3. Porcentajes de holocelulosa y lignina en rastrojo virgen con y sin extracción

Materia prima	Ho (%)	Li (%)
Tallo de haba con ExOr	61.48 ± 0.30	12.16 ± 0.66
Tallo de haba sin ExOr	53.08 ± .03	14.38 ± 0.33
Rastrojo de maíz con ExOr	64.17 ± 0.66	16.33 ± 0.11
Rastrojo de maíz sin ExOr	56.33 ± 1.01	17.19 ± 0.08
Olote con ExOr	65.38 ± 0.26	6.65 ± 0.24
Olote sin ExOr	61.56 ± 0.11	7.58 ± 0.17

Los valores están dados en porciento masa base seca.

El rastrojo que presentó la mayor discrepancia en las determinaciones de carbohidratos fue el tallo de haba, ya que los porcentajes de Ho y Li de las muestras con y sin ExOr mostraron diferencias absolutas de 8.4% y 2.21% respectivamente. Por otro lado, la extracción no mostró un efecto significativo sobre el olote, ya que las diferencias absolutas en los porcentajes de Ho y Li fueron de 3.8% y de 0.93% respectivamente. Tomando en cuenta los resultados con y sin ExOr en rastrojo de maíz se calcularon valores promedio de 60.25% ± 3.92 para Ho y 16.76% ± 0.86% para Li, los cuales son cercanos a los reportados por Chayanon *et al.* [7] de 59.9% para Ho y 17.6% para Li; lo anterior es interesante debido a que es escasa la información antes de una ExOr y corrobora que para para el rastrojo de maíz la etapa previa de ExOr es poco relevante.

Los espectros de IR de las muestras de tallo de haba virgen antes y después de la ExOr se presentan en la Figura 1. En cada uno de los espectros mostrados en el presente trabajo, las letras H, C y Li corresponden a hemicelulosa, celulosa y Li respectivamente, así mismo, el símbolo β hace referencia al enlace β1-4 glucosídico propio de la celulosa y hemicelulosa. Para el análisis de los espectros se tomaron como base los trabajos de Xu *et al.* [16], Gómora-Hernández [17], Schulz *et al.* [18] y Hsu *et al.* [19].

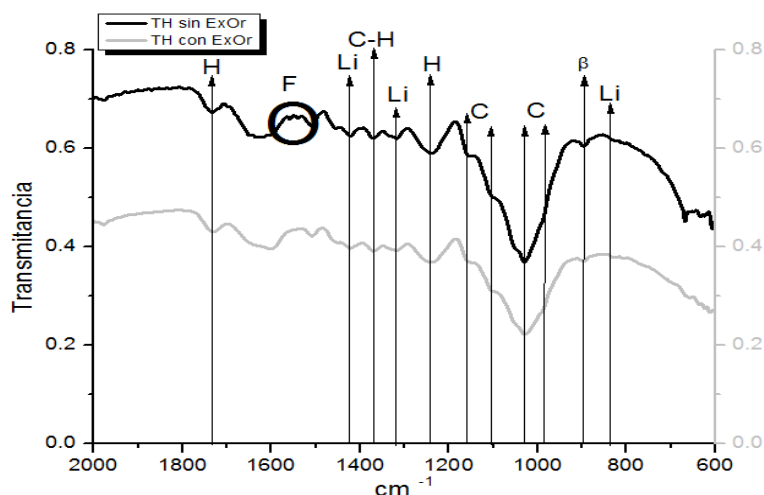


Figura 1. Espectros de IR de Tallo de haba virgen con y sin ExOr

En ambos espectros se observaron las vibraciones a 983, 1036, 1102 y 1156 cm^{-1} correspondientes a los enlaces C-O y C-C de la celulosa, por otra parte la hemicelulosa se encontró a 1244 y 1726 cm^{-1} , esta última vibración corresponde a la absorción del enlace C=O propio de los grupos acetil. El enlace β 1-4 glucosídico (C-O-C) presente en la celulosa y hemicelulosa se observó a 896 cm^{-1} . Por otra parte, el anillo aromático de la Li se encontró a 1511 y 1590 cm^{-1} , mientras que los enlaces C-H de la parte alifática se presentaron en 1425 cm^{-1} . La diferencia más importante entre los espectros mostrados en la Figura 1 fue la presencia de dos bandas de absorción a 1560 y 1537 cm^{-1} ambas denotadas con la letra F observadas en el tallo de haba sin extracción, las cuales de acuerdo con Heneczkowski *et al.* [20] son propias de los metabolitos secundarios encontrados en las plantas en forma de poli aromáticos conocidos como flavonoides.

Por otra parte, los espectros de IR del rastrojo de maíz antes y después de la ExOr se muestran en la Figura 2. Al igual que los espectros del tallo de haba, los espectros del rastrojo mostraron una predominancia de las vibraciones características de celulosa y bandas propias de Li y H. La presencia de F en el rastrojo que no fue sometido a ExOr se encontró a los mismos valores de 1560 y 1537 cm^{-1} , además se observó una banda de vibración a 1644 cm^{-1} denotada como “T” la cual de acuerdo al trabajo de Schulz *et al.* [18], se atribuye a la presencia del enlace C=C de los mono terpenos.

Debido a que algunas de las vibraciones características de los mono terpenos se encuentran en un rango de 1000 a 1300 cm^{-1} , un análisis más minucioso sobre dichos componentes no pudo realizarse, ya que la intensidad y amplitud de las vibraciones de celulosa no permitió observarlas en un intervalo de 950 a 1200 cm^{-1} . Por otra parte, la clorofila considerada como un intermediario importante no puede ser detectada mediante espectroscopia IR [18]. Un análisis gravimétrico o mediante espectroscopia Raman permitiría observar la eliminación de dicho compuesto después de la ExOr.

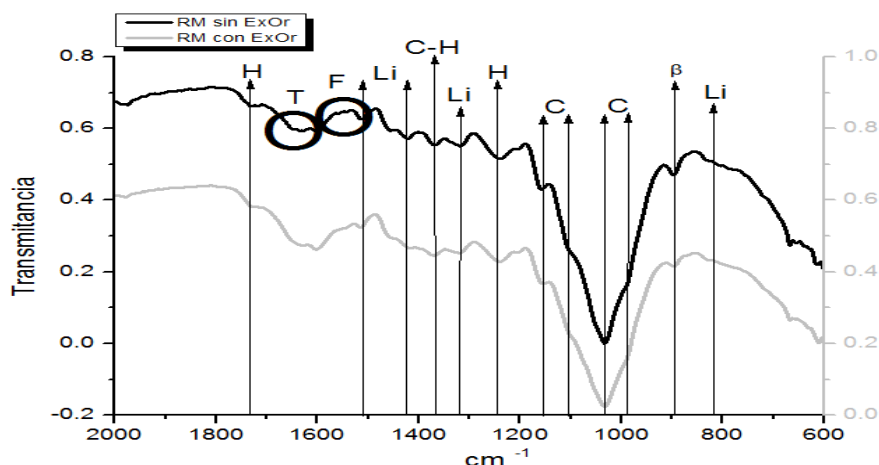
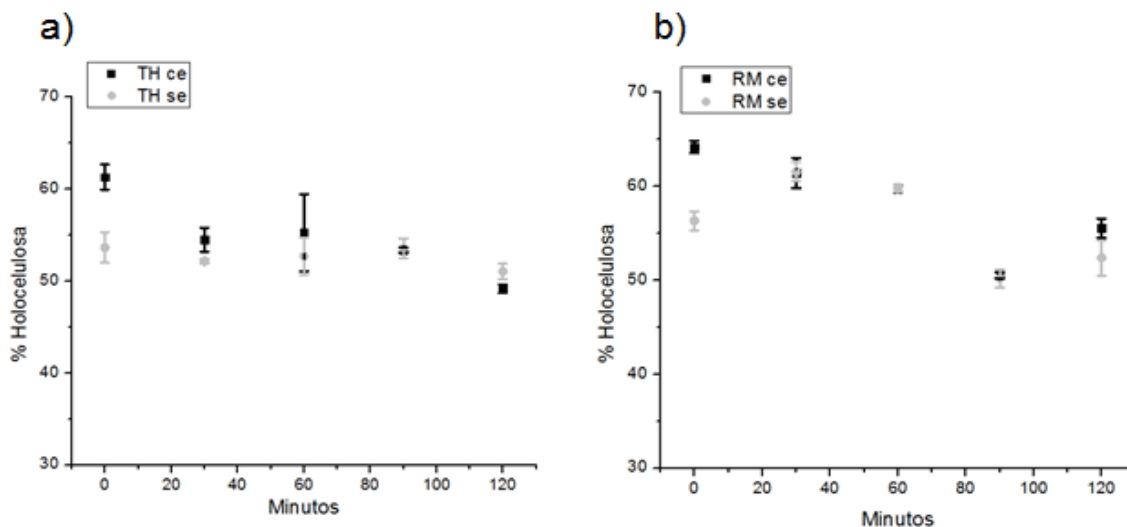


Figura 2. Espectros de IR del rastrojo de maíz virgen con y sin ExOr

3.3. Efecto de la extracción en rastrojos hidrolizados

Tal y como se muestra en la Tabla 3, las mayores diferencias se encontraron en la determinación de Ho, siendo 8.40% para el tallo de haba, 7.84% para el rastrojo de maíz y de tan solo 3.82% para el olote. Considerando como desviación máxima 5% y el hecho de que se ha reportado que el olote es un biomaterial con bajo contenido de clorofila, resinas y terpenos, el efecto de la ExOr sobre la determinación de Ho en muestras hidrolizadas de tallo de haba y rastrojo de maíz fue estudiado y se presenta en la Figura 3.



ce, con ExOr; RM, Rastrojo de maíz; se, sin ExOr; TH, Tallo de haba

Figura 3. Efecto de la ExOr sobre la determinación de Ho en a) tallo de haba y b) rastrojo de maíz hidrolizado

El porcentaje de Ho determinado en el tallo de haba hidrolizado con y sin ExOr mostró valores muy cercanos entre sí para cada uno de los tiempos de contacto, donde los errores porcentuales atribuidos a dicha diferencia absoluta fueron menores al 2.3%. Mientras que el contenido de Ho en las muestras de rastrojo de maíz con y sin ExOr presentaron diferencias absolutas entre los porcentajes de Ho antes y después de la ExOr menores al 0.5%, exceptuando la muestra de 120 minutos.

La Tabla 4 muestra el promedio del porcentaje de Ho determinado en las muestras hidrolizadas antes y después de la ExOr, el valor del estadístico t-Student y su respectiva significancia. Las medidas de

correlación muestran la interacción en el comportamiento de los datos con y sin ExOr, cuyos valores fueron de 0.430 y 0.778 para el tallo de haba y rastrojo de maíz respectivamente. Por otra parte, el análisis estadístico determinó que no existen diferencias significativas entre las muestras con y sin ExOr, ya que los valores de Significancia entre sus medias fueron > 0.05 .

Tabla 4. Análisis estadístico del porcentaje de holocelulosa en función de la extracción orgánica

Análisis	% Holocelulosa	% Desviación	Correlación	t-Student	Significancia
TH ce	54.72	4.36	0.430	0.711	0.516
TH se	53.46	2.21			
RM ce	58.28	5.34	0.778	1.466	0.216
RM se	56.04	4.800			

ce, con ExOr; RM, Rastrojo de maíz; se, sin ExOr; TH, Tallo de haba

La Figura 4 muestra los espectros de IR del tallo de haba hidrolizado durante 30 minutos. Las vibraciones observadas en su mayoría corresponden a C, H y Li, siendo las más intensas y de mayor amplitud las pertenecientes a C ($950 - 1200 \text{ cm}^{-1}$). Los espectros de IR del tallo de haba y del rastrojo de maíz hidrolizados a partir de 30 minutos con y sin ExOr no mostraron la presencia de F ni de mono terpenos, sugiriendo que la hidrólisis ácida descompone los intermediarios presentes en los residuos agrícolas. Este comportamiento se había reportado anteriormente en el trabajo de Vasconcelos *et al.* [11], quienes estudiaron la hidrólisis del rastrojo de caña en presencia de H_3PO_4 y observaron que además de recuperar azúcares, el tratamiento ácido removió en su totalidad a los extractivos.

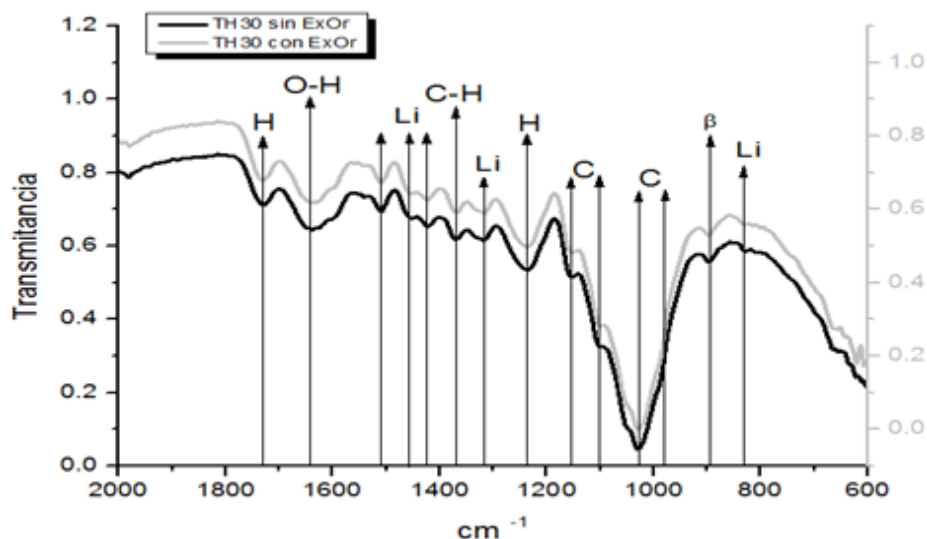


Figura 4. Espectros de IR del tallo de haba hidrolizado durante 30 minutos con y sin ExOr.

3.4. Descomposición de holocelulosa

El sólido remanente del proceso de hidrólisis se secó y se pesó a fin de determinar el porcentaje de hidrolizado mediante la ecuación 3.

$$\%Hidro = 100 - \frac{W_f * 100}{W_i} \quad (3)$$

Donde % Hidro es el porcentaje de sólido hidrolizado después del tratamiento, W_f es el peso final de la biomasa y W_i el peso inicial. La mayor cantidad de sólido hidrolizado se determinó para el rastrojo de maíz

después de 120 minutos, alcanzando una descomposición del 33.11%, valor superior al calculado para el mismo tiempo con tallo de haba (23.56%). El porcentaje de sólido hidrolizado aumentó a medida que el tiempo de contacto con el ácido se incrementó (Figura 5a), comportamiento contrario al observado en la masa total de Ho, la cual disminuyó conforme el tiempo de reacción aumentó (Figura 5b).

La masa de Ho hidrolizada en el tallo de haba fue de 0.995 g, mientras que en el rastrojo de maíz la cantidad de carbohidrato degradado fue de 1.31 g, valores que con respecto a la masa inicial de Ho corresponden a rendimientos de descomposición de 32.46% y 40.95% respectivamente. Los datos de la masa de Ho mostrados en la Figura 5b se determinaron multiplicando los porcentajes de Ho promedio y las masas de los rastrojos al final de la hidrólisis. Finalmente, el ajuste de la degradación de Ho al modelo cinético de primer orden se muestra en la Figura 6, en donde se presentan los coeficientes de correlación R^2 y la ecuación de velocidad propuesta.

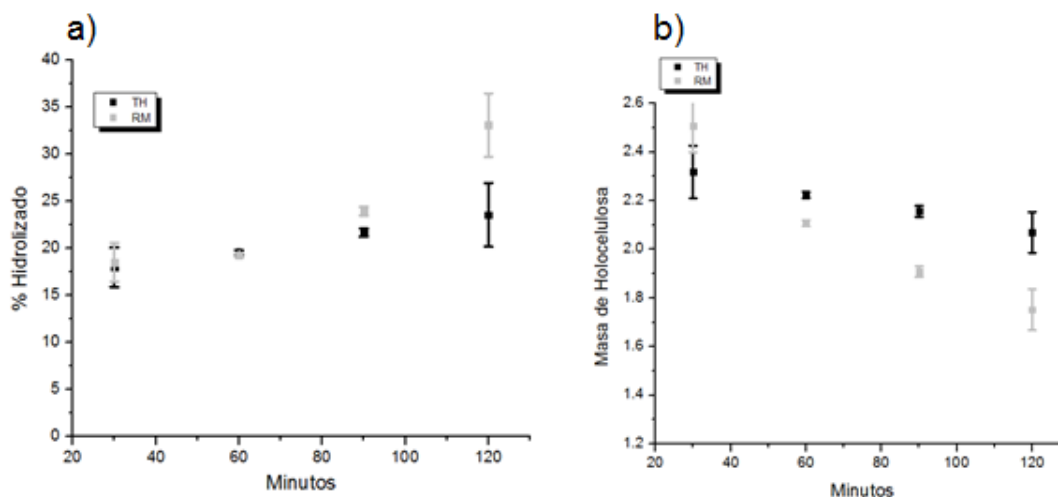


Figura 5. Comportamiento del a) sólido hidrolizado y de la b) masa de holocelulosa

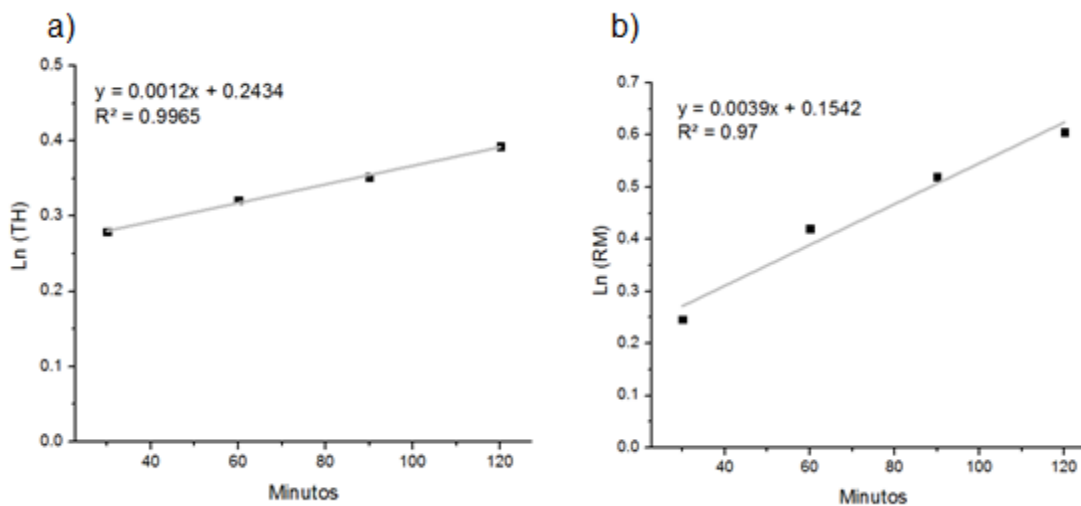


Figura 6. Cinética de la degradación de holocelulosa en a) Tallo de haba y b) rastrojo de maíz

La descomposición de Ho en el tallo de haba mostró un ajuste R^2 mayor (0.996) que en el rastrojo de maíz (0.97), sin embargo, su velocidad de descomposición resultó menor, ya que de acuerdo a la ecuación cinética su constante de velocidad es de $1.2 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$, mientras que la constante resultante en el rastrojo de maíz fue tres veces mayor, $3.9 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$. Estos valores cinéticos van de la mano con la masa de Ho en función

del tiempo mostrada en la Figura 5b, en donde se observó una mayor pérdida para el caso del rastrojo de maíz a los mismos tiempos de contacto que el tallo de haba.

4. Conclusiones

La ExOr no es necesaria para la determinación de carbohidratos en olote virgen, debido a que las desviaciones entre las muestras extraídas y no extraídas fueron menores al 5%. La determinación de Ho en muestras de tallo de haba y de rastrojo de maíz sometidas a hidrólisis ácida no requiere de ExOr, como lo valida el análisis estadístico, corroborando que el tratamiento ácido remueve gran parte de los extractivos.

El análisis por IR resultó una herramienta importante para visualizar el efecto de la extracción sobre el tallo de haba y el rastrojo de maíz, un análisis más minucioso sobre los extractivos presentes en los rastrojos debería contemplar el uso de espectroscopia Raman y la cuantificación de clorofila.

La degradación de Ho se ajustó adecuadamente a un modelo cinético de primero orden, mostrando coeficientes de correlación superiores a 0.95.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Toluca por las facilidades prestadas durante el desarrollo del trabajo y al CONACYT por la beca otorgada para realizar estudios de posgrado a Julio César Gómora Hernández.

Referencias Bibliográficas

- [1] Cao G., Ren N., Wang A., Lee D., Guo W., Liu B., Feng Y., Zhao Q. (2009). Acid hydrolysis of corn stover for Biohydrogen production using *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* W16. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34:7182-7188.
- [2] INEGI. 2009. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Cuéntame Economía y Agricultura. (Consultada el 02 de Noviembre de 2014). <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/primarias/agri/default.aspx?tema=E>
- [3] Singh Renu, Shukla Ashish, Tiwari Sapna, Srivastava Monika. 2014. A reviews on delignification of lignocellulosic biomass for enhancement of ethanol production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32:713-728.
- [4] Cheng Chieh-Lun, Lo Yung-Chung, Lee Kuo-Shing, Lee Duu-Jong, Lin Chiu-Yue, Chang Jo-Sgu. 2011. Biohydrogen production from lignocellulosic feedstock. *Bioresource Technology*. 102:8514-8523.
- [5] Li P., Cai D., Luo Z., Qin P., Chen C., Wang Y., Zhang C., Wang Z., Tan T. (2016). Effect of acid pretreatment on different parts of corn stalk for second generation ethanol production. *Bioresource Technology*, 206:86-92.
- [6] Yi Z., Jia Z., Fuging X., Yebo L. 2014. Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. *Progress in Energy and Combustion Science*. 42:53-53.
- [7] Chayanon S., Surendra K. C., Devin T., Hans O., Samir K. 2014. Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass. Challenges and opportunities. *Bioresource Technology*. Article in Press.
- [8] Agbor V.B., Cicek N., Sparling R., Berlin A., Levin D.D. (2011). Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. *Biotechnology Advances*. 29:675-685.
- [9] Sluiter A., Hames B., Ruiz R., Scarlata C., Sluiter J., Templeton D., Crocker D. 2011. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass, Laboratory Analytical Procedure. *National Renewable Energy Laboratory*, Technical Report No. TP-510-42618.
- [10] Colín-Urieta S., Ma. A. Carcía C., López A P., Rutiaga Q. J. G. 2007. Análisis preliminar de la composición química de la madera de *Cordia eleagnoides* DC. 4to. *Congreso Forestal, IV Simposio Internacional sobre técnicas agroforestales, III Congreso Internacional de Jóvenes Investigadores DEFORS 2007*. La Habana, Cuba. p. 223.

- [11] Vasconcelos S. M., Pinheiro S. A. M., Moraes R. G. J., Souto M. A. M. 2013. Diluted phosphoric acid pretreatment for production of fermentable sugars in a sugarcane based biorefinery. *Bioresource Technology*. 135:46-52.
- [12] SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2008. Normas mexicanas vigentes. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/normasmexicanasvigentes.aspx> (Consultada en Mayo 2016).
- [13] APHA. 2005. Standard Methods for Water and Wastewater Examination, 21 st ed. American Public Health Association-American Water Works Association, Water Environment Federation Publication, Washington, DC. USA.
- [14] Wise L. E., Murphy M., D'Adieco A. 1946. Chlorite holocellulose, its fractionation and beating on summative wood analysis and on studies on the hemicelluloses. *Paper Trade Journal*, 122:35-45.
- [15] Petersson A., Thomsen M. H., Nielsen H. H., Thomsen A.-B.. 2007. Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean *Biomass & Bioenergy*. 31:812-819.
- [16] Xu F., Yu J., Tesso T., Dowell F., Wang D. 2013. Qualitative and quantitative analysis of lignocellulosic biomass using infrared techniques: A mini review. *Applied Energy*. 104:801-809.
- [17] Gómora-Hernández J. C. 2014. Obtención de biohidrógeno y de biometano a partir de residuos orgánicos y comparación de sus rendimientos. *Tesis de Licenciatura*. Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, México.
- [18] Schulz H., Baranska M. 2007. Identification and quantification of valuable plant substances by IR and Raman spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*. 43:13-25.
- [19] Hsu T. C., Guo G. L., Chen W. H., Hwang W. S. 2010. Effect of dilute acid pretreatment of rice straw on structural properties and enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology*. 101:4907-4913.
- [20] Heneczkowski M., Kopacz M., Nowak D., Kuzniar A. 2001. Infrared spectrum analysis of some flavonoids. *Acta Poloniae Pharmaceutica*. 58:415-420.

Operación de siete plantas de composta en la Ciudad de México

¹ Elba Lucero Sánchez Velasco, ² María del Mar van der Wal Lima, ³ Humberto López Zavaleta, ⁴ Alethia Vázquez Morillas, ⁵ Rosa María Espinosa Valdemar, ⁶ Juan Carlos Álvarez Zeferino

¹ Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A), Av. San Pablo No. 180, Reynosa Tamaulipas, Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México, CP: 02200, México. Teléfono 53189062, al2113033482@correo.azc.uam.mx. ² UAM-A, ³ UAM-A, ⁴ UAM-A, ⁵ UAM-A, ⁶ UAM-A

Resumen

En este estudio se evaluaron las condiciones de operación de siete plantas de composta situadas en la Ciudad de México; pertenecientes a las Delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Iztapalapa, Xochimilco y Milpa Alta, además se incluyen la de Ciudad Universitaria y la de Bordo Poniente; los resultados del estudio permitirán conocer elementos como el tipo de residuo tratado, equipo de trabajo, cantidad de agua disponible, personal, condiciones de seguridad e higiene, entre otros. Se realizaron visitas de campo a cada planta para conocer los aspectos de operación durante el proceso de composteo. Los resultados de las visitas permitieron observar que hay diferencias importantes en cada planta en cuanto a equipo, personal y recursos, que afectan la calidad de la composta producida; siendo la falta de agua y de aireación (debido a la falta de equipo o el exceso de material a tratar), los más relevantes. También se observaron situaciones de riesgo para el ambiente y para los trabajadores; la falta de agua y el acumulamiento de troncos son proclives a la generación de incendios.

Palabras Clave: *Proceso biológico, tratamiento de residuos orgánicos, fracción orgánica.*

1. Introducción

El proceso de composteo ha sido el utilizado prioritariamente por la Ciudad de México para el tratamiento de la fracción orgánica (FO) de sus residuos; el gobierno local emitió la Norma Ambiental NADF-020-AMBT-2011 [1] para establecer los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la FO de los residuos.

De acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), en la Ciudad de México los habitantes generan 13,893 toneladas de residuos sólidos diariamente, de las cuales 1,690 toneladas son trasladadas desde las estaciones de transferencia a las plantas de composta [2]. La Ciudad de México cuenta con 7 plantas, las cuales se presentan en la Tabla 1, donde también se muestran los datos estadísticos de producción de composta anual de dichas plantas. En esta tabla, la producción de composta se refiere al total producido por año, y la composta entregada es aquella que se utiliza directamente en delegaciones para mejorar áreas verdes.

Tabla 2. Producción de composta en las plantas que opera el gobierno de la Ciudad de México [2]

Planta de composta	Residuos orgánicos recibidos t/año	Producción de composta t/año	Composta entregada/año
Bordo Poniente	307,571	118,416	7,315
San Juan de Aragón	422	42	5
Álvaro Obregón	1,771	1,412	N/D
Cuajimalpa	1,830	915	915
Iztapalapa	1,789	186	186
Milpa Alta	1,600	314	219
Xochimilco	1,728	372	N/D
Total	316,711	121,657	8,640

La información oficial que se presenta sólo incluye lo mostrado en la Tabla 1, no hay datos de la operación de las plantas, ni de la calidad de la composta producida. Este trabajo tiene como objetivo evaluar el proceso

de operación de cada una de las plantas para realizar un diagnóstico. Aunque en los datos oficiales se menciona la existencia de una planta en San Juan de Aragón, al momento de solicitar la visita se dijo que ésta no estaba operando. Sin embargo, debido a que uno de los objetivos del proyecto es comparar las condiciones de operación de plantas de composta del Valle de México, se obtuvieron permisos para visitar la planta de Ciudad Universitaria, ésta no aparece en la Tabla 1 ya que no es considerada por la Secretaría del Medio Ambiente porque no procesa residuos de la delegación sino de la propia universidad.

2. Metodología

Para cumplir con los objetivos del trabajo se establecieron cuatro etapas, que se describen a continuación:

- Obtención de los permisos necesarios para visitar las plantas que aceptaron colaborar con el trabajo y programación para visitarlas.
- Elaboración de una ficha de operación como herramienta para la supervisión de las plantas, basado en la NADF-020-AMBT-2011.
- Visita a las plantas de composta y llenado de las fichas de operación.

Determinación de la forma de operación de cada planta en cuanto a: maquinaria con la que cuenta, trabajadores, material (insumos y disponibilidad de agua), el proceso de elaboración de composta y las condiciones de la planta que pudieran afectar su producción.

3. Resultados

Se consiguió la autorización para visitar seis plantas pertenecientes a la Ciudad de México, que corresponden a las Delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Iztapalapa, Xochimilco y Milpa Alta, además la perteneciente a Ciudad Universitaria y a Bordo Poniente. Las visitas se realizaron durante el mes de abril de 2016. Se realizó el formato para registrar ficha de operación que incluyó especificaciones en cuanto a las características del sitio destinado a la planta, los insumos, el proceso, las características de la composta terminada y su etiquetado, tal como están marcadas en la norma.

Las visitas a las siete plantas se realizaron en un día, en todos los casos el personal fue muy atento y colaborativo, lo que permitió el llenado de la ficha de operación, el cuál varió dependiendo del tamaño de la instalación y de los recursos con los que se cuenta. Para la evaluación de cada planta, se organizó la información recabada como se muestra a continuación:

Maquinaria

De acuerdo con lo observado en las plantas, el equipo que se utiliza comúnmente incluye: astilladoras, volteadoras, bobcat, retroexcavadora, bulldozer, trommel, cargador, trituradoras, tractor. Las condiciones y la disponibilidad de maquinaria de estos equipos en las plantas fueron muy diferentes, la Tabla 2 muestra la maquinaria con la que cuenta cada planta. De gran ayuda resulta el disponer de una volteadora cuando se manejan grandes cantidades de material en proceso de composteo, las volteadoras observadas en las plantas de Ciudad Universitaria, Iztapalapa y Xochimilco se muestran en la Figura 1. En las demás plantas para el volteo se utiliza usualmente el llamado bobcat.

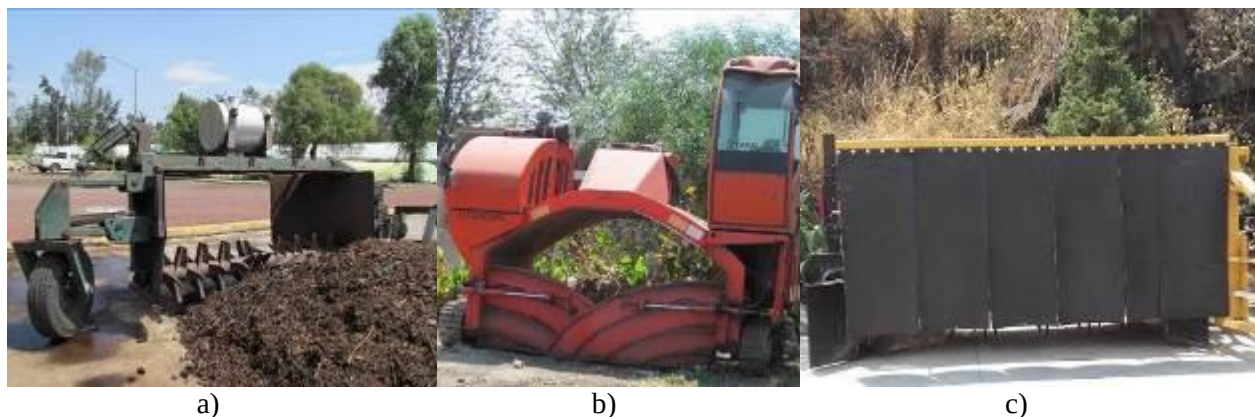


Figura 1. Volteadoras pertenecientes a las plantas de a) Xochimilco b) Iztapalapa y c) Ciudad Universitaria

3.2. Trabajadores

La Tabla 3 ilustra las condiciones de cada planta en cuanto a trabajadores. Existen situaciones de especial interés: la planta de Iztapalapa cuenta con el menor número de trabajadores, siendo solo dos; y la de Cuajimalpa cuenta entre sus trabajadores con adultos mayores.

Tabla 3. Maquinaria disponible en las plantas de composta

Planta	Tipo	Observaciones
Cuajimalpa	Trituradora Bobcat	Maquinaria operando, el mantenimiento general lo realizan los trabajadores.
Ciudad Universitaria	4 Astilladoras 4 Bobcat Volteadora Cargador	Dos astilladoras operando y dos descompuestas. Dos en regular estado y dos descompuestos. Descompuesta En reparación
Álvaro Obregón	2 Bobcat Trituradora Retroexcavadora	Maquinaria operando, el mantenimiento general lo realizan los trabajadores.
Iztapalapa	Bobcat Tamizador Trommel Volteadora Retroexcavadora Trituradora Astilladora	Maquinaria operando, el mantenimiento general lo realizan los trabajadores. Se improvisa en el mantenimiento de ciertos equipos, debido a la tardanza en la respuesta de la delegación.
Xochimilco	4 Trituradoras Volteadora Bobcat Tractor Retroexcavadora	Dos trituradoras funcionando y dos descompuestas. Volteadora en reparación
Bordo Poniente	3 cargadores follets 2 trommel móviles Bobcat 3 góndolas con tracto camión DG bulldozer Tractor agrícola 2 pipas de agua (una de 10,000 y otra de 20,000 L)	La maquinaria enunciada es solo la que se encontraba operando, se cuenta con más, pero se hallaba descompuesta.
Milpa Alta	3 Tractores Bobcat	Se utilizan para las labores generales de la delegación, es decir, no están solo destinados a la planta. En reparación

La planta de Álvaro Obregón y la de Bordo Poniente son las únicas en las cuales se observan mujeres trabajando, en la primera son mujeres de edad avanzada. Los parámetros en cuanto al proceso se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Trabajadores de la planta de composta

Planta	Número/ Categoría	Observaciones/Horario de trabajo
Cuajimalpa	7 trabajadores, un encargado	Mayores de 50 años, de 8 am-2 pm
Ciudad Universitaria	Jefe de áreas verdes 3 Jefes de servicio 2 Biólogos 4 Oficiales de policía Coordinador 11 Oficiales	12 trabajadores permanentes, lunes a domingo de 5:30 am a 9 pm
Álvaro Obregón	11 trabajadores, un encargado	Generalmente hay 7 trabajadores De 8-3 pm
Iztapalapa	2 Trabajadores/un encargado	Horario de 7 am a 3 pm
Xochimilco	22 Trabajadores, un encargado	Horario de 7 am-3 pm lunes a viernes
Bordo Poniente	Jefe de unidad Asesor 3 Jefes de área 6 Cabos Peones	En la planta laboran 180 personas, 80 de parte del gobierno de la ciudad y 100 que laboran de parte de empresas en el manejo de los equipos y su mantenimiento.
Milpa Alta	10 Trabajadores/un encargado	Los trabajadores acuden tres horas cada día.

3.3 Proceso

Se refiere al método utilizado para producción de composta; incluye la duración estimada del proceso, si realizan algún tipo de monitoreo en cuanto a las condiciones de humedad y temperatura necesarias y las condiciones de aireación, es decir, la frecuencia de volteo. En la Figura 2 se observa como realizan el volteo en las plantas que no cuentan con volteadora.



Figura 2. Volteo con bobcat realizado en la planta de Álvaro Obregón

3.4 Residuos tratados en el proceso y disponibilidad de agua

Este aspecto incluye la fuente de la FO utilizada para el proceso y la disponibilidad de agua observable en cada planta. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5. Bordo Poniente es la única planta que cuenta con una báscula para determinar cantidades de entrada de material para composteo y la cantidad de

composta producida. Por lo cual las estimaciones de material recibido en las otras plantas se hacen en volumen.

Tabla 5. Proceso con el cual operan las plantas de composta

Planta	Tipo de proceso/Duración	Observaciones
Cuajimalpa	Pilas con volteo mecánico. Duración no estimada.	Calculan la temperatura con machete. Voltean solo lo que es accesible con el bobcat.
Ciudad Universitaria	Pilas con volteo mecánico. Manual: 5-6 meses Volteadora: 2-3 meses	Volteo dos veces por semana. Llevan un registro de ciertos parámetros, no actualizados.
Álvaro Obregón	Pilas con volteo mecánico. 3- 4 meses	Cuando cuentan con combustible voltean y riegan cada mes o mes y medio. Cuentan con \$3,000 de presupuesto cada mes.
Iztapalapa	Pilas con volteo mecánico. 3 meses, 4 meses sin humedad	Volteo cada mes.
Xochimilco	Pilas con volteo mecánico 2-3 meses	Volteo cada tercer día, riego cada tercer día
Bordo Poniente	Pilas estáticas 2 ½ meses a 3 meses y 10 días	Realizan un registro de la temperatura y la humedad. No realizan volteos.
Milpa Alta	Pilas con volteo mecánico 6 meses	No hay disponibilidad de maquinaria para realizar volteos.

Además, se observó que en todas las plantas los residuos de ingreso, presentaban materiales inertes (como plásticos y vidrio), los cuales eran separados por los trabajadores de las plantas, y almacenados en el lugar destinado en cada planta, en la Figura 3 se registró esta situación.

En la Figura 3 se observan las condiciones y el tipo de material que llega a las plantas de composta; cuestiones de interés son la gran cantidad de nopal que llega a la planta de Milpa Alta, siendo uno de los principales constituyentes de su composta, en cuanto a Bordo Poniente, la gran cantidad de material que reciben complica su manejo. Iztapalapa, Bordo Poniente, Xochimilco y Milpa Alta son las únicas plantas que reciben material diferente al de poda y jardines.



Figura 3. Trabajador de Cuajimalpa separando los residuos inorgánicos

Tabla 6. Residuos y disponibilidad de agua

Planta	Insumos/Volumen recibido	Agua
Cuajimalpa	Poda de la delegación y residuos de jardinería. La cantidad es muy variable, un día pueden llegar cuatro camiones y otro ninguno. No tienen un estimado.	No cuentan con agua, dependen del agua de lluvia, se solicitaron pipas de agua tratada, pasados cinco meses no habían llegado. En temporada de lluvias se inunda.
Ciudad Universitaria	Poda y jardinería de ciudad universitaria, CCH Naucalpan y preparatoria 6; reciben de 30 a 50 m ³ diarios.	No carecen de agua, el riego en temporada seca se efectúa con mangueras y una bomba.
Álvaro Obregón	Poda de la delegación, no en su totalidad, un 10% por la falta de capacidad, el resto es proveniente de (ejidatarios de San Bartolo y Ameyalco) y de Jardines del Pedregal. Volumen aproximado de 3 camionetas al día.	Escasez de agua, recirculan los lixiviados.
Iztapalapa	Poda y residuos provenientes de Sta. Catarina, San Andrés, Tláhuac. Incluyen alimentos de mercados y domiciliarios. Martes y jueves llegan de 8 a 12 m ³ de residuos de mercado.	Escasez de agua, ha habido incendios por esta razón y por las piezas inertes (vidrios) que llegan mezcladas con los residuos.
Xochimilco	Poda y jardines de la delegación, no reciben residuos mezclados, plagados ni con muérdago. Reciben residuos de mercado. Utilizan Gallinaza y estiércol de caballo. Reciben de 16 a 20 m ³ por día y cada tercer día reciben residuos de comida (200 kg).	No hay escasez de agua, cuentan con dos tomas.
Bordo Poniente	Reciben la FO de los residuos provenientes de todas las delegaciones; de 1,500 a 2,000 toneladas por día.	Dependen del agua de lluvia para la humedad.
Milpa Alta	Poda y jardines; reciben los residuos de nopal propios de la actividad productiva predominante en la región y una parte de la FO de los residuos de la delegación. Cantidad no estimada; pues es muy variable.	Dependen del agua de lluvia para la humedad.

3.5 Condiciones de composteo

Se refiere a las condiciones de la planta, en cuanto a instalaciones (tipo de piso, agua, luz, sanitarios) y tipo de proceso (tamaño de las pilas, manejo de lixiviados). La información concentrada de las siete plantas se muestra en la Tabla 6 y en la Figura 5.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Figura 4. Material de inicio de las plantas de composta de a) Milpa Alta b-c) Bordo Poniente d) Xochimilco e) Álvaro Obregón y f) Cuajimalpa



Figura 6. Pilas en las plantas de composteo

4. Conclusiones

Las formas de operación de las plantas de composta de la ciudad de México son muy variadas, cada una tiene características que ayudan o perjudican al proceso para generar una composta de buena calidad de acuerdo a la NADF-020-AMBT-2011. Los aspectos más comunes y que son perjudiciales al proceso fueron la falta de agua (que ha contribuido a incendios), y la imposibilidad de una correcta aireación (causada por la falta de volteo). Esto se debe a dos factores principalmente: máquinas fuera de operación y una sobrecarga de material a tratar. Los casos más sobresalientes son los de las plantas de Bordo Poniente, por haber sido diseñada para manejar una cantidad de material muy inferior a la que maneja actualmente, y Milpa Alta, que no cuenta con maquinaria destinada únicamente al uso de la planta de composta. En todas las plantas falta monitoreo y control de parámetros, constantes que son cruciales para el proceso de composteo, el proceso también se ve afectado por la separación inadecuada de la FO de los residuos.

Sin embargo, los trabajadores aprovechan y hacen un gran esfuerzo utilizando de la mejor manera posible las instalaciones y la maquinaria disponibles, logrando producir una gran cantidad de composta anualmente, como muestra la Tabla 7; si bien únicamente Bordo Poniente cuenta con una báscula para determinar la cantidad de material de entrada y de composta producida. Actualmente se estudian las características físico-químicas, biológicas y de fitotoxicidad, de acuerdo a la NADF-020-AMBT-2011 y al manual de la OCDE-208 para conocer la calidad de las compostas producidas y vincularlas con su proceso.

Tabla 7. Condiciones de composteo y de la planta

Planta	Condiciones de la planta	Condiciones de las pilas
Cuajimalpa	Piso de tierra. Tres pilas. Todas las pilas eran casi una sola, no hay manejo de lixiviados, inundaciones en época de lluvias.	Pila inicial: largo 32 m, ancho 14 m y altura 5.4 m. Pila intermedia: largo 16 m, ancho 10 m y altura 3.3 m. Pila final: largo 3.5 m, ancho 2.5 m y altura 2.9 m.
Ciudad Universitaria	Plancha de concreto. 8,000 a 8,500 m ² . De 4 a 5 pilas, 5 contando la madura. Sistema de infiltración del agua de lluvia. Control para la prevención de incendios. Cuentan con contenedor para lixiviados.	Todas las pilas tienen la misma medida: Largo: 48 m. Altura: 1.8 m. Ancho: 8 m

Álvaro Obregón	Plancha de concreto: 2712 m ² . 4 a 5 pilas. Cuenta con una pendiente y una cisterna de almacenamiento de lixiviados de 1,800 metros cúbicos para su recirculación.	Realizan camas para preparar las pilas: 30 cm de material triturado, hojarasca y estiércol de caballo; repitiendo hasta determinada altura. Pila inicial: 6.40 m, ancho 2.70 m y altura. Pila intermedia: largo 11.70 m, ancho 4.3 m y altura 1.50 m.
Iztapalapa	Piso de tierra firme. Faltaba mucha agua. De 6 a 7 pilas. Hay una pila de PET que separan de los residuos orgánicos, lleva más de tres meses almacenada.	Realizan camas para preparar las pilas: materia orgánica y pasto hasta terminar la pila.
Xochimilco	Plancha de concreto. De 9 a 10 pilas trabajan de manera simultánea. No tienen un control de los lixiviados.	Pila inicial: largo 16 m, ancho 3 m y altura 0.7 m. Pila intermedia: largo 32 m, ancho 2.5 m y altura 0.80 m.
Bordo Poniente	Piso de tierra. Funcionan aproximadamente 77 pilas de manera simultánea. No tienen control de lixiviados, inundaciones en época de lluvias.	Pilas de 200m de largo por 40m de ancho y 5 m de altura.
Milpa Alta	Piso de tierra. Funcionan tres pilas, casi unidas entre sí. No tienen un control de lixiviados ni de inundaciones.	---

Agradecimientos

A las autoridades de las Delegaciones de la Ciudad de México, a las de la UNAM, y a la DGSU DF por el apoyo recibido. A los trabajadores de las plantas de composta por brindarnos tan cordial atención. Al financiamiento obtenido para la realización de este proyecto por parte del PRODEP, a través de la convocatoria de Integración de Redes Temáticas de Colaboración Académica 2015.

Referencias

- [1] SEDEMA, Secretaría del Medio Ambiente. (2012). NADF-020-AMBT-2011. Que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal 30 de noviembre de 2012.
- [2] SEDEMA, Secretaría del Medio Ambiente. (2014). Inventario de Residuos Sólidos CDMX-2014-SEDEMA. Secretaría del Medio Ambiente.

Tratamiento biológico de lodos fisicoquímicos

¹ Beatriz Alejandra García García, ² Rosa María Espinosa Valdemar, ³ Margarita Beltrán Villavicencio
1, 2,3 Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A), Av. San Pablo No. 180, Reynosa
Tamaulipas, Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México, CP: 02200, México. Teléfono 53189062, rmev@correo.azc.uam.mx.

Resumen

Se presentan los resultados del composteo de lodos fisicoquímicos de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-Azcapotzalco, México. Se realizaron tres tratamientos, por duplicado, en tambos de 200 L. Como agentes acondicionantes y abultantes se utilizó cáscara de naranja, residuos de café, mulch (troncos de madera triturados) y otros residuos de jardinería (hojas, pasto y ramas pequeñas), además de estiércol como inóculo, que se mezclaron con los lodos en proporción de 75% y 25 %, respectivamente; como testigo se emplearon lodos biológicos. El proceso se monitoreó a través de los parámetros de pH, temperatura, humedad, cenizas, nitrógeno, materia orgánica y C/N. Las temperaturas más altas se obtuvieron al principio del proceso, alcanzando valores promedio de hasta 46 °C. El pH inicial de la mezcla de lodos presentó un valor cercano a 12 y la composta final de entre 8 y 9 en todas las unidades experimentales. En cuanto a metales pesados, todas las compostas cumplen con los límites establecidos en la norma. Las compostas no presentaron efectos fitotóxicos en la especie vegetal indicadora.

Palabras Clave: *composta, pH básico, fitotoxicidad, biosólidos*

Introducción

La Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales (PPTAR) de la Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-A), trata fisicoquímicamente una fracción del agua residual generada dentro de sus instalaciones, que se destina al riego de áreas verdes, se producen aproximadamente 20,000 L de agua tratada por día [1].

Durante el tratamiento de las aguas residuales, se producen 175 L de lodos al día en la PPTAR, con una concentración del 2% de sólidos [2], los cuales son sometidos a estabilización alcalina, obteniendo un lodo con un pH mayor a 11.5. Una vez estabilizados los lodos se almacenan, provocando una acumulación de residuos de manejo especial y a los que actualmente no se les da un tratamiento posterior.

Estos residuos podrían tener un aprovechamiento mediante composteo, donde se pueden utilizar agentes acondicionantes, que permitan disminuir el pH para que la degradación pueda realizarse de manera adecuada. Dada esta problemática, en este proyecto se presenta una propuesta de tratamiento de los lodos de la PPTAR, a través de composteo con agentes acondicionantes, utilizando como testigo lodos biológicos.

El composteo de los lodos es una opción para el manejo adecuado de los lodos generados, que puede contribuir a la construcción de la UAM A en una universidad sustentable.

Metodología

Para cumplir con los objetivos planteados se realizó la selección, y posterior obtención, de agentes acondicionantes, y lodos, así como la caracterización de los mismos, después se procedió al montaje y monitoreo del composteo, finalmente se realizó la caracterización de la composta, y se efectuó una prueba de fitotoxicidad.

Selección de agentes acondicionantes

La selección de los agentes acondicionantes se basó en la búsqueda de residuos con pH ácido para amortiguar el pH alcalino de los lodos, debido al proceso de estabilización al que son sometidos, y en su

potencial disponibilidad, en o cerca de la universidad. De los análisis realizados a 20 posibles residuos, se optó por utilizar cáscara de naranja, residuos de café y residuos de jardinería (hojas, pasto y ramas pequeñas), además de mulch como fuente de carbono y mejorador de textura (

Figura 7).

Con la finalidad de asegurar la presencia de microorganismos, que favorezcan al proceso, se agregó estiércol de vaca como inóculo.



Figura 7. Agentes acondicionantes. a) Cáscara de naranja b) Residuo de café c) Residuos de jardinería d) Mulch

Obtención de los lodos

Los lodos fisicoquímicos se obtuvieron de la PPTAR de la UAM-A, siguiendo el procedimiento interno para su estabilización (IOGA-PP-P-ESL-003 [3]), el cual consiste en transferir los lodos acumulados del tratamiento de aguas residuales, del tanque de sedimentación hacia el tanque de estabilización, se les agrega una solución concentrada de cal, hasta alcanzar un pH de por lo menos 12 unidades. Después de 22 horas de mantener el pH a por lo menos 11.5 unidades sin agregar más cal, los lodos son transferidos al filtro prensa, de donde se recupera la torta.

Como testigo se emplearon lodos biológicos que se obtuvieron de la empresa RECICLAGUA, ubicada en el municipio de Lerma de Villada, en el estado de México. El método de tratamiento del agua es con base en un proceso de lodos activados con difusión de aire. La planta trata 400 L/s [4]. Los lodos obtenidos del tratamiento son espesados y prensados, posteriormente son enviados a incineración.

Obtención de los agentes acondicionantes

El residuo de café se recolectó de diferentes oficinas de la UAM-A; la cáscara de naranja se obtuvo de un comercio de jugos localizado cerca de la universidad, se colocó en bolsas de plástico y se congeló. Los residuos de jardinería que se emplearon se obtuvieron del mantenimiento a áreas verdes de la universidad, constituidos por hojas secas y frescas, pasto, ramas pequeñas y mulch, éste de la trituración de troncos y ramas.

Caracterización de los lodos y agentes acondicionantes

Los residuos obtenidos fueron caracterizados para establecer la proporción más adecuada para el proceso de composteo. Para ello se realizaron análisis de: humedad [5], materia orgánica y cenizas [6], nitrógeno total [5], pH [7], y relación C/N [6].

Montaje del experimento

Se prepararon tres mezclas de agentes acondicionantes con lodos, en las siguientes proporciones:

- 25% lodo fisicoquímico, 75% agente acondicionante (LQ25)
- 25% lodo fisicoquímico, 75% residuos de jardinería (LQJ25)
- 25% lodo biológico (testigo positivo), 75% agente acondicionante (LB25)

En todos los casos se agregó 10%, en masa, de estiércol de vaca como inóculo, cada mezcla se colocó, por duplicado, para un total de seis unidades experimentales, consistentes en tambo de plástico de 200 L (Figura 8).



Figura 8. Unidades experimentales con las mezclas de residuos al inicio del proceso.

Las unidades experimentales fueron volteadas y aireadas manualmente, sacando los residuos del tambo y paleándolos diariamente durante los primeros quince días, posteriormente cada semana durante un mes y finalmente cada quince días hasta cumplir tres meses.

Monitoreo de la composta

El proceso fue monitoreado mediante los siguientes parámetros: pH [7], temperatura (medidor de vástago), humedad [5], producción de CO₂ (Vernier electrónico con sensor de CO₂, marca LabQuest 2), Nitrógeno total [5], materia orgánica y cenizas [6].

El monitoreo de cada parámetro se realizó al inicio, posteriormente cada semana durante un mes y finalmente cada quince días hasta cumplir tres meses, las muestras se obtuvieron durante cada volteo.

Evaluación de la calidad de la composta

La composta final obtenida se caracterizó empleando los métodos que marca la NADF-020-AMBT-2011 [9], que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta, y que fueron: pH [7], humedad [5], Nitrógeno total [5], materia orgánica [6], carbono [6], relación C/N [6], análisis

microbiológicos de coliformes fecales y *Salmonella ssp* [8]; así como de contenido de metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn). Se realizaron dos tipos de pruebas de fitotoxicidad, la primera de acuerdo con la norma mencionada y la segunda utilizando la guía 208 de la OECD [10] para comprobar que la composta puede ser utilizada en especies vegetales.

Para la prueba de la guía 208 de la OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), se utilizaron 55 rizotrones (unidades de estudio donde se visualiza la raíz) (Figura 9), con 3 dosis de aplicación, por quintuplicado, 25, 50 y 75% de composta mezclada con tierra de vivero, por los tres tipos de composta, utilizando como testigo tierra de vivero, y composta pura. Se hicieron pruebas de viabilidad de las semillas utilizadas y se colocaron en los rizotrones, con un tiempo de experimentación de 21 días, después de que germinaron más del 50% de las semillas en los controles. Como especie vegetal indicadora se utilizó lechuga simpson (*Lactuca Sativa L.*).



Figura 9. Rizotrones con las mezclas de composta y tierra de vivero

Resultados y discusión

Obtención de los agentes acondicionantes

Para el montaje del experimento se requirieron de 160 kg de cáscara de naranja, 30 kg de residuo de café, 180 kg de mulch, 30 kg de residuos de jardín, 100 kg de lodos fisicoquímicos y 50 kg de lodos biológicos.

Caracterización de los lodos y agentes acondicionantes

Los resultados obtenidos de la caracterización de los agentes acondicionantes y de los lodos se presentan en la Tabla 8. Se observa un pH más alcalino de lo esperado, de 11.5, en los lodos fisicoquímicos, así como una concentración de materia orgánica (M.O) de 41.18 ± 0.11 %. El pH de los agentes acondicionantes fue ácido en ambos casos.

Tabla 8. Caracterización de los sustratos

Sustrato	%humedad	%M.O.	%C	%N	C/N	pH
Mulch	17.2 ± 5.58	96.66 ± 0.19	53.7 ± 0.19	0.41 ± 0.14	137.86 ± 0.14	8.76 ± 0.24
Residuo de café	67.09 ± 7.06	98.16 ± 0.04	54.53 ± 0.04	2.72 ± 0.01	20.93 ± 0.01	5.62 ± 0.19
Cáscara de naranja	76.01 ± 0.48	95.8 ± 0.04	53.22 ± 0.04	0.76 ± 0.01	73.1 ± 0.01	4.51 ± 0.06
Lodos biológicos	85.48 ± 0.45	74.13 ± 0.11	41.18 ± 0.11	4.82 ± 0.03	8.93 ± 0.03	8.33 ± 0.06
Lodos PPTAR	66.96 ± 3.26	14.1 ± 0.3	7.83 ± 0.3	0.36 ± 0.25	22.95 ± 0.25	13.1 ± 0.06
Estiércol	76.75 ± 1	82.49 ± 0.35	45.83 ± 0.35	2.09 ± 0.04	22.89 ± 0.04	8.17 ± 0.42
Residuos de jardín	29.98 ± 4.22	91.59 ± 0.46	50.88 ± 0.46	0.63 ± 0.25	84.85 ± 0.25	8.33 ± 0.06

La Tabla 9 muestra la caracterización de las mezclas iniciales para cada condición experimental, se observa que el pH, para el caso de las mezclas que contienen lodos de la PPTAR, es mayor a 12 unidades. En todos los casos el porcentaje de materia orgánica es mayor al 80% y la relación C/N sobrepasa las 30 unidades.

Tabla 9. Caracterización de las mezclas

Mezcla	%humedad	%M.O.	%C	%N	C/N	pH
Mezcla 1 (LQ)	57.97 ± 0.77	84.33 ± 2.23	46.85 ± 1.69	1.09 ± 0.002	44.78 ± 0.001	12.6 ± 0.09
Mezcla 2 (LQJ)	47.64 ± 8.09	88.39 ± 3.98	49.11 ± 3.3	1.03 ± 0.05	50 ± 0.06	12 ± 0.2
Mezcla 3 (LB)	61.16 ± 3.25	92.95 ± 1.23	51.64 ± 0.96	1.64 ± 0.05	32.97 ± 0.05	7.78 ± 0.06

Montaje del experimento

En las tres mezclas preparadas se utilizaron 50 kg de lodos, 10 kg de residuo de café y 60 kg de mulch. A dos de éstas, una de lodos de la PPTAR (LQ) y otra de lodos biológicos (LB), se les agregaron 80 kg de cáscara de naranja a cada una; a la tercera mezcla de lodos de la PPTAR se agregaron 30 kg de residuos de jardín (LQJ), esto por la densidad de los residuos, haciendo que las unidades experimentales LQJ tuvieran 25 kg menos cada una.

Monitoreo del proceso

En la Tabla 10 se muestra el resumen de los resultados obtenidos en el monitoreo del proceso.

Tabla 10 Resumen del monitoreo

Parámetro	Mezcla	Valor inicial	Valor máximo	Valor final
pH (unidades)	LQ	12.6± 0.01	12.6± 0.01	8.71± 0.025
	LQJ	12± 0.01	12± 0.01	8.28± 0.078
	LB	7.78± 0.01	9.27± 0.005	8.68± 0.262
Temperatura (°C)	LQ	14.3± 0.01	43.67± 1	20± 0.01
	LQJ	11± 0.01	31.33± 1.67	20.17± 1
	LB	16± 0.01	46.83± 4.5	20.5± 0.016
Humedad (%)	LQ	57.97± 0.01	69.1± 5.11	69.1± 5.11
	LQJ	47.64± 0.01	64.89± 0.10	64.89± 0.10
	LB	61.15± 0.01	75.77± 1.14	75.77± 1.14
CO ₂ (ppm)	LQ	68,604±2892	90,593±1824	90,593±1824
	LQJ	100372± 3	99374± 979	99374± 979
	LB	100359± 7	100221±126	100221± 126
Relación C/N	LQ	43.65± 0.52	43.65± 0.52	21.93± 1.00
	LQJ	46.73± 0.73	46.73± 0.73	25.45± 2.49
	LB	31.57± 1.55	31.57± 1.55	21.13± 3.97
Materia orgánica (%)	LQ	84.33± 2.23	84.33± 2.23	55.66±4.46
	LQJ	88.39± 3.98	88.39± 3.98	65.46± 4.99
	LB	92.95± 1.23	92.95± 1.23	81.11± 1.76
Carbono (%)	LQ	46.85± 1.24	46.85± 1.24	30.92± 3.32
	LQJ	49.11± 2.21	49.11± 2.21	36.37± 2.77
	LB	51.63± 0.69	51.63± 0.69	45.06± 0.98

En la primer semana del proceso se observaron cambios importantes en el pH, las mezclas con lodos de la PPTAR con valores iniciales de pH mayores a 12, disminuyeron a pH menores a 9 unidades; la mezcla que tenía lodos biológicos, con pH inicial cercano a 8 disminuyó a 7.5 en la primer semana.

En cuanto a la temperatura, se observó el comportamiento esperado de acuerdo a la literatura, con un incremento al inicio del proceso, sin embargo, no se alcanzaron las temperaturas recomendadas de una fase termofílica, que es de por lo menos 55°C [9]. Las unidades que presentaron una temperatura menor durante todo el proceso, fueron las mezclas de lodo de la PPTAR con residuos de jardinería.

El intervalo de humedad, que presentan todas las unidades experimentales, está dentro de los límites recomendados para un composteo eficiente (50-70%) [11]. Para el CO₂ la concentración mostró un aumento desde el primer día, con valores que superaban 100,000 ppm, lo cual indica la alta actividad microbiana, y por ende la necesidad de realizar más volteos al día para garantizar la presencia de oxígeno en el proceso [11].

La relación C/N en todas las unidades experimentales tuvo una reducción, comportamiento típico en una composta, debido a que una parte del carbono se pierde en forma de CO₂, y a que el nitrógeno contenido en la biomasa de los microorganismos es reciclada por la aparición de especies microbianas sucesivas del proceso [11].

Respecto a la materia orgánica se observa una tendencia a la reducción del porcentaje, demostrando que la materia orgánica fue mineralizada o asimilada por los microorganismos para formar sus tejidos durante el proceso [11].

El porcentaje de carbono, disminuyó, comportamiento típico en una composta, pues cuando la materia orgánica es mineralizada pierde carbono en forma de CO₂ [11].

Evaluación de la calidad de la composta

Al comparar las compostas obtenidas con la NADF-020-AMBT-2012, (Tabla 11), se observa que las tres compostas cumplen con los valores recomendados por la norma, en cuanto a porcentaje de materia orgánica, relación C/N, porcentaje de nitrógeno, índice de germinación, y las concentraciones de cadmio, cromo, níquel y plomo. Las compostas con lodo de la PPTAR, LQ y LQJ también cumplen con la concentración de cobre; en las unidades experimentales LB, el cobre presentó una concentración de 92.55 ± 10.32 mg/kg, que la clasifican en un tipo de composta de nivel 2- subtipo A2, de la norma NADF-020-AMBT-2012, el cobre posiblemente se encuentra en los lodos biológicos, pues provienen de aguas de origen industrial.

En cuanto a los parámetros que no se cumplen, se encuentra la humedad, el pH, la concentración de coliformes fecales y *Salmonella* spp, cuyos resultados se discuten a continuación.

La humedad se encuentra fuera de rango debido a la disminución en la frecuencia de volteo, que propicio la acumulación de agua por la mineralización de la materia orgánica, aunado a que las compostas al inicio fueron regadas para mantener la humedad adecuada. La humedad puede corregirse al permitir que el agua sobrante se evapore, o cuidar el riego.

En cuanto al pH, la norma indica que los valores deben encontrarse en el rango de 6.5 a 8 unidades, en la mezcla LQ disminuyó de 12.6 ± 0.01 a 8.71 ± 0.03 y en la mezcla LQJ de 12 ± 0.02 a 8.28 ± 0.08 , en ambos casos la disminución es importante y los valores finales aparecen como un resultado alentador, que podría corregirse si se disminuye el porcentaje de lodos a tratar.

En cuanto a la concentración de coliformes fecales y *Salmonella* spp, cuya presencia fue aportada por el estiércol, inóculo, ya que son bacterias patógenas que están presentes en los intestinos de animales de sangre caliente y humanos [12]. Para su eliminación se debe garantizar que la temperatura, durante el proceso de composteo, alcance un valor mayor a 55°C, por al menos una semana [13], o bien cambiar la fuente de microorganismos degradadores ajenos al proceso, por levadura o composta madura.

Tabla 11. Caracterización de la composta final

Parámetro	LQ	LQJ	LB	NADF-020-AMBT-2011
Humedad (%)	52.64 ± 1.23	59.1 ± 1.31	48.92 ± 1.53	25-45
pH (unidades)	8.71 ± 0.03	8.28 ± 0.08	8.63 ± 0.02	6.5-8
Materia orgánica (%)	68.34 ± 4.51	68.38 ± 2.18	86.93 ± 0.48	>25
C (%)	35.19 ± 0.21	31.55 ± 1.74	32.2 ± 0.46	N.D.
Relación C/N	21.74 ± 0.06	18.58 ± 0.37	10.27 ± 0.91	<25
Nitrógeno (%)	1.62 ± 0.21	1.7 ± 0.025	3.135 ± 0.1	1 a 3
Coliformes fecales (UFC*/g)	25 x10 ³ ± 800	80 x10 ³ ± 1200	150 x10 ³ ± 70 x10 ³	<1000 NMP**/g
<i>Salmonella</i> spp (UFC*/g)	18 x10 ⁶ ± 6 x10 ⁶	6 X10 ⁶ ± 5 x10 ⁶	50 x10 ⁶ ± 35 x10 ⁶	<3 NMP** en 4 g
Fitotoxicidad (IG)	155.6 ± 31.99	102.99 ± 16.53	110.07 ± 9.51	IG ≥ 60%
Arsénico (mg/kg)	<0.001 ± 0.1	<0.001 ± 0.1	<0.001 ± 0.1	0.1
Cadmio (mg/kg)	<0.001 ± 0.1	<0.001 ± 0.1	<0.001 ± 0.1	0.7
Cromo (mg/kg)	<0.001 ± 0.1	<0.001 ± 0.1	31.3788 ± 1.71	70
Cobre (mg/kg)	26.9 ± 7.55	27.37 ± 7.57	92.56 ± 10.32	70
Níquel (mg/kg)	<0.001 ± 0.1	6.74 ± 15.06	0.32 ± 0.72	25
Plomo (mg/kg)	<0.001 ± 0.1	<0.001 ± 0.1	<0.001 ± 0.1	45
Aluminio (mg/kg)	150.09 ± 21.43	72.11 ± 14.91	<0.001 ± 0.1	ND***

*UFC= Unidades formadoras de colonias

**NMP = Número más probable

***ND= No Determinado

Dado que la composta obtenida no cumple con varios parámetros, se podría reintegrar a un nuevo proceso de composteo, en donde se garantice una temperatura de 55°C para eliminar los patógenos presentes.

Los resultados en fitotoxicidad, Figura 10, según la guía 208 de la OECD, demuestran que los lodos generados en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, que fueron tratados no tienen efectos fitotóxicos, en la especie vegetal indicadora, lechuga simpson (*Lactuca Sativa L.*), las lechugas cultivadas en tierra de vivero no generaron más biomasa en comparación a las que crecieron en las mezclas con composta, considerando las desviaciones estándar.

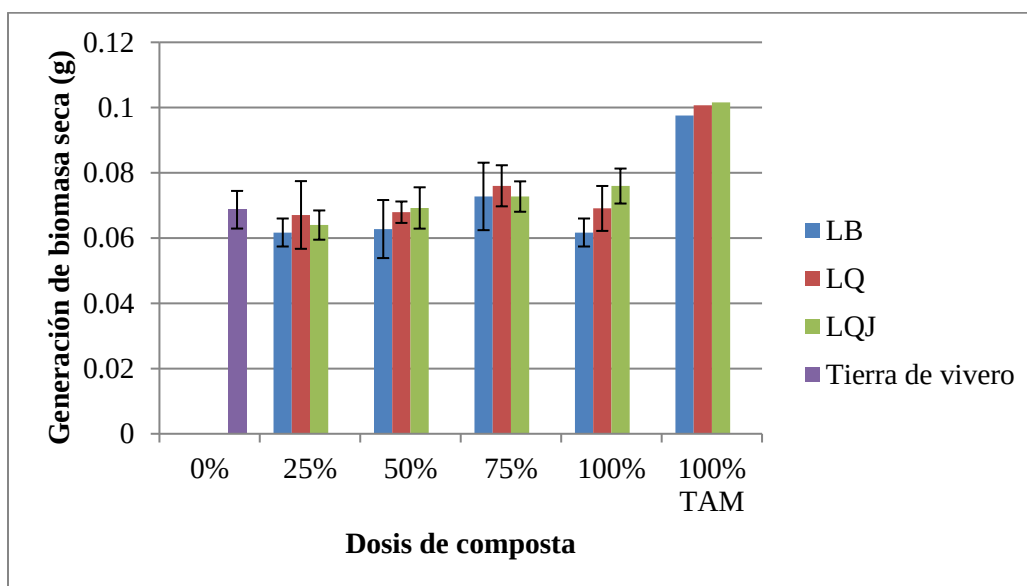


Figura 10. Generación de biomasa base seca

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en este proyecto, se demostró que los lodos generados en la PPTAR de la UAM-A, pueden ser tratados mediante composteo en mezcla con otros residuos. Se recomienda utilizar la mezcla con los residuos de la universidad, utilizando hojarasca, pasto, ramas pequeñas, residuo de café, y mulch; si bien fue una mezcla que no alcanzó una fase termófila, presentó una concentración menor de metales pesados, un índice de germinación mayor, y más generación de biomasa con respecto a las otras compostas.

Finalmente, el proceso de composteo aparece como buena alternativa de tratamiento tanto para los lodos de la PPTAR, que actualmente sólo se estabilizan, como para los residuos de jardinería, ya que las condiciones aquí ensayadas permitieron obtener compostas que cumplen con varios rubros de la norma; para los parámetros que no se cumplen existen alternativas a implementar que se derivan de los resultados de esta investigación. La ejecución del proceso aquí ensayado permitiría el tratamiento de dos residuos que se generan en la institución, ayudando en la construcción de una universidad sustentable.

Referencias

- [1] González A. A, Beltrán V. M, Pérez A. A. O, Medina T. L., 2008 Operación de la Planta Piloto de Tratamiento de Agua de la UAM-A. Antecedentes y Perspectivas. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco. 9º Foro de Ingeniería Ambiental, Junio 2008. México.
- [2] García R. M. A., 2010, Identificación de mejoras en la calidad de un suelo bajo en nutrientes con la aplicación de biosólidos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la UAM-A, Proyecto Terminal de Ingeniería Ambiental, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- [3] UAM, 2011a. IOGA-PP-P-ESL-003 Procedimiento para la estabilización de lodos generados en la planta piloto de tratamiento de aguas residuales.
- [4] RECICLAGUA Ambiental. S.A de C.V., 2012. Gobierno del estado de México, Secretaría del Medio Ambiente, Disponible en: <http://www.edomex.gob.mx/reciclagua>, fecha de consulta 25-noviembre-2014.
- [5] SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. , p.85.
- [6] Zagal E. y Sadzawka A., 2007, Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos, Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.
- [7] DOF, 1992. NMX-AA-25-1984. PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS-DETERMINACIÓN DEL pH-MÉTODO POTENCIOMÉTRICO. , pp.1-2.
- [8] American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation, 2012. Standard Methods for the examination of water and wastewaters, 22 th edition, American Public Health Association, Washington, EUA.
- [9] SEDEMA-DF, 2012. NADF-020-AMBT-2011, Norma ambiental para el Distrito Federal que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal
- [10] OECD (Organization for Economic Co-operation and Development), 2006. Test N°. 208: Terrestrial Plant Test: Seedling Emergence and Seedling Growth Test. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, 227(September), pp.1-21. Available at: http://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-208-terrestrial-plant-test-seedling-emergence-and-seedling-growth-test_9789264070066-en.
- [11] Moreno, C.J. & Moral, H.R., 2011. Compostaje, Ediciones Mundi-Prensa, España, ISBN: 978-84-8476-346-8, P. 95-13

- [12] SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2003. NOM-004-SEMARNAT-2002, Lodos y biosólidos- especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, México, pp.18-60.
- [13] O’Ryan H. J. y Riffo P. M. O., 2007, Manual. El compostaje y su utilización en agricultura. Dirigido a pequeños(as) productores(as) pertenecientes a la agricultura Familiar Campesina. Fundación para la Innovación agraria-universidad de las américas, Santiago, Chile.

Valorización de componentes en una empresa manufacturera de fragancias

¹Erika Beltran-Salomon, ¹Karla Madrigal-Estrada, ¹Paul Taboada-González, ¹Quetzalli Aguilar-Virgen, ²Hugo Ceja Cázares

¹ Universidad Autónoma de Baja California. Calzada Universidad #14418, Parque Industrial Internacional Tijuana C.P. 22390
Tel. + 52 (664) 979 7500, Tijuana, Baja California. Email: ebeltran89@uabc.edu.mx

² Estudiante de Licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma de Baja California. Calzada Universidad #14418, Parque Industrial Internacional Tijuana C.P. 22390

Resumen

La falta de estrategias para la recuperación-reciclaje de materiales en las empresas provoca que éstos terminen rápidamente en sitios de disposición. Esto provoca una mayor demanda de materiales vírgenes, genera costos y reduce la competitividad empresarial. Este estudio tuvo por objetivo reducir los costos por disposición de residuos peligrosos en una empresa manufacturera de fragancias, mediante la valorización de materiales. Se realizó la evaluación del proceso actual de recolección de rechazos, manejo y disposición de residuos peligrosos en el producto de mayor volumen de producción (fragancia). Se diseñó un nuevo proceso para recolectar rechazos, separar los componentes, valorizar componentes y disponer los residuos peligrosos. Se obtuvo una reducción de 39.56% de los gastos generados por concepto de disposición de residuos, cumpliendo con las normas de manejo de residuos peligrosos y seguridad de la empresa. La aplicación de herramientas básicas de ingeniería industrial permite lograr ahorros sustanciales en procesos de valorización de residuos

Palabras Clave: Disposición de materiales, valorización de residuos, residuos peligrosos, reutilización.

1. Introducción

La falta de estrategias para la recuperación-reciclaje de materiales en las empresas provoca que éstos terminen rápidamente en sitios de disposición. Esto provoca una mayor demanda de materiales vírgenes, genera costos y reduce la competitividad empresarial. Montoya et al. [1] indican que los residuos sólidos que se generan en los sectores productivos representan fuente de oportunidades si se gestionan apropiadamente, ya que se reducen costos operativos e impactos negativos al ambiente. Hoyos et al [2] indican que una óptima gestión de los residuos sólidos debe incluir la minimización, aprovechamiento, recuperación, reutilización y transformación mediante el uso de tecnologías alternas, además de capacitación y educación.

En una empresa de manufactura de productos para el hogar localizada en Tijuana, Baja California (denominada Fragance, por razones de confidencialidad) se fabrican tres productos: fragancia, pastilla aromatizante y gel aromatizante. Los productos de fragancia tienen como base aceite mineral, y representan la principal categoría en ventas para la empresa y son los que se producen en mayor volumen, y están catalogados como solvente medianamente inflamable. De acuerdo a la norma NOM-052-SEMARNAT-2005[3], estos residuos son catalogados como residuos peligrosos por la inflamabilidad y el volumen generado.

En la actualidad, Fragance tiene pérdidas por el tratamiento de los rechazos de calidad. El proceso de producción del producto de fragancias tiene una capacidad de 210 botellas por minuto en cada línea de producción, la empresa cuenta con 5 líneas en total, las cuales producen en una hora 63 000 botellas de fragancias. Actualmente, el porcentaje aproximado de generación de desperdicio en el proceso de producción es del 3%.

Cuando un producto no cumple con las especificaciones de calidad o sale defectuoso/disconforme se manda almacenar al cuarto de residuos peligrosos. Una vez almacenado conforme a lo establecido en materia de seguridad, se procede a contactar a una empresa recolectora de residuos quienes recogen, transportan, manejan y disponen el residuo peligroso. Este proceso se aprecia en la Figura 1.

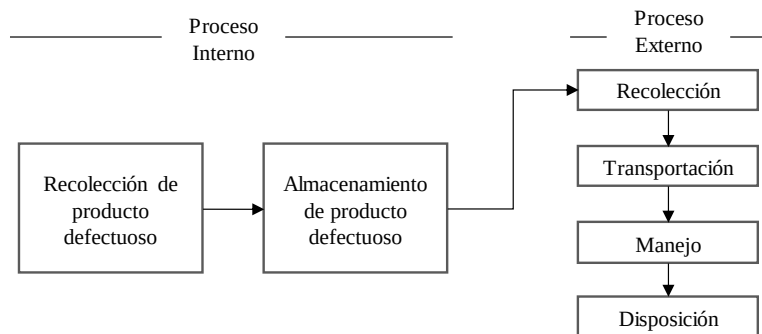


Figura 1. Flujo actual del manejo y disposición de residuos peligrosos.

Para poder hacer la disposición final de los rechazos es necesario separar los componentes. Actualmente este trabajo lo realiza la empresa recolectora de residuos, por lo que el costo de la disposición es muy elevado. En el desensamble se obtienen componentes como las tapas, mechas, insertos, aceite mineral y frascos de vidrio que en la mayoría de los casos pudieran ser aprovechados. De esta forma, Fragrance absorbe costos por las deficiencias en el proceso de producción, no recupera materiales valiosos y paga para que alguien más realice la disposición.

Ante las presiones económicas internacionales, se están buscando estrategias para mejorar la productividad de Fragrance. Una de ellas consiste en realizar un estudio para determinar la rentabilidad de realizar el proceso de recolección, separación y reutilización de componentes de los productos fragancias defectuosas de manera interna. Dejando los procesos de recolección, neutralización, transporte y disposición de residuos a la empresa recolectora de residuos. De esta forma se valorizan los componentes que cumplan los estándares de calidad y se reducen los costos por compra/disposición de los mismos. Todo esto sin dejar de cumplir con las normas de manejo de residuos peligrosos y seguridad de la empresa.

2. Metodología

Es importante señalar que en el análisis realizado no se considera la reducción de la cantidad de producto defectuoso. Tampoco el impacto que tiene reutilizar componentes en la compra de materias primas y en la calidad del producto. Estos tópicos deben ser tratados por separado, con otras técnicas y sugieren un estudio todavía más amplio y profundo.

El estudio se divide en dos partes: diseño del proceso de valorización de rechazos y un análisis comparativo de costos.

Diseño del proceso de valorización de componentes

Al iniciar una optimización de un proceso es necesario trazar un plan preliminar. Autores [4] indican que pueden surgir diferentes preguntas sobre si el proceso está diseñado para lograr una ventaja competitiva en términos de diferenciación, respuesta o bajo costo. No obstante, se debe tener en consideración que el nuevo diseño debe ser capaz de responder de forma óptima a estas cuestiones.

Hacer más con menos, requiere la identificación de los elementos que contribuyen a la ineficiencia e ineficacia [5]. Por ello, para el diseño del proceso de valorización de componentes se realizó una nueva distribución de planta y hojas de instrucción. Para obtener la información necesaria para estas actividades, se hizo un análisis de operaciones, se midió el área de trabajo, se recolectaron las dimensiones de las

máquinas y las distancias de seguridad requeridas. Se considera que este nuevo proceso se llevará a cabo con los recursos actuales de los que dispone la empresa, como son: espacio, personal, mobiliario y equipo. Para la elaboración de la distribución de planta se empleó el software Autocad® 2013 y para las hojas de instrucción se utilizó Word® 2010

Análisis comparativo de los costos de ambos métodos

Para verificar la viabilidad del proceso de valorización se realizó un análisis comparativo de costos. Para ello se tomaron en cuenta datos históricos de un año anterior (2014) que reflejan la cantidad en kilos de producto rechazado mensualmente.

Con los datos históricos se aplicó el método de promedios móviles [6] con valor real de dos meses para obtener un pronóstico de productos defectuosos mensual para el siguiente año. Con los datos pronosticados se obtuvo el costo estimado considerando subcontratar todo el servicio de manejo y disposición de residuos peligrosos (situación actual) y el costo estimado por solo subcontratar los servicios de transportación y disposición (propuesta). Finalmente, los datos obtenidos se concentraron en una hoja de Excel® donde se obtuvo el costo total de cada proceso con la Fórmula 1.

$$C = Q * S \quad (1)$$

3. Resultados y discusión

Diseño del proceso de valorización de componentes

Se obtuvo la distribución de planta (Figura 2) y las hojas de instrucción (se omite por confidencialidad) para la realización del proceso de separación de componentes dentro de la empresa. La creación de la celda propuesta no genera costos, debido a que los recursos materiales y humanos ya existen en la empresa.

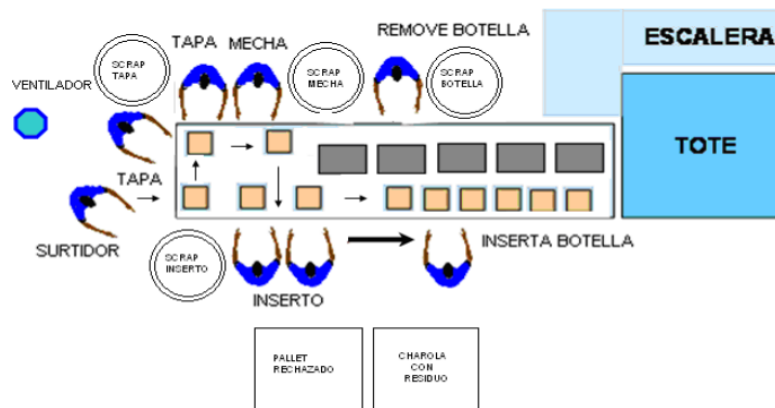


Figura 2. Distribución del proceso de separación de componentes.

Análisis comparativo de los costos de ambos métodos

Se obtuvieron los datos históricos de la cantidad mensual en kilogramos de producto defectuoso que se llevó el proveedor en el año 2014 (Figura 3). Los contenedores tienen capacidad para 600 kilos.

El costo por realizar el proceso de manejo y disposición de residuos peligrosos por parte del proveedor asciende a \$USD 650 por cada 600 kilogramos de producto rechazado. Con los datos históricos se infiere que durante el 2014 la empresa gastó más de \$USD 184,000.

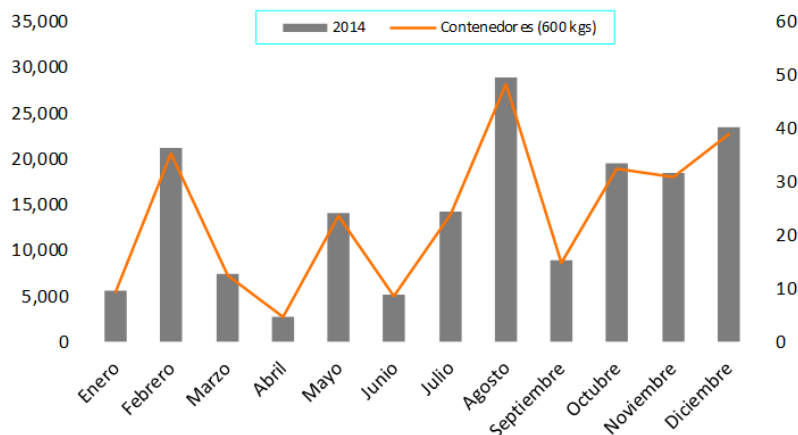


Figura 3. Producto defectuoso dispuesto, 2014.

Los resultados de la prueba con el proceso de manejo y separación de componentes internos indicaron un descenso en el costo por disposición. Con éste método, solo se genera un costo de \$USD 257 dólares, correspondientes a los servicios de transporte y disposición que realiza el proveedor. Este resultado indica que si la empresa opta por la propuesta de hacer la separación de forma interna, el costo anual sería de \$USD 69,323 dólares, lo cual implica una reducción en costos del 39.56% (ver Tabla 1). El ahorro de \$USD 105,909 es superior a los \$USD 64,195.20 reportados en otro estudio de mejoramiento de productividad [7], donde se realizaron cambios en la distribución, inversiones en nuevas estaciones de trabajo, reducción de consumos insumos, de operadores y electricidad

Tabla 1. Comparativo de costos pronosticados para el 2015

Mes	Situación actual			Propuesta		
	Costo por contenedor* (S)	Pronóstico contenedores 2015 (Q)	Costo Total (dlls) $C = S * Q$	Costo por contenedor* (S)	Pronóstico contenedores 2015 (Q)	Costo Total (dlls) $C = S * Q$
Enero	650	9	\$6,060	257	9	\$ 2,397
Febrero	650	35	\$23,023	257	35	\$9,108
Marzo	650	22	\$14,542	257	22	\$5,753
Abril	650	24	\$15,555	257	24	\$6,153
Mayo	650	9	\$5,587	257	9	\$2,210
Junio	650	14	\$9,217	257	14	\$3,646
Julio	650	16	\$10,502	257	16	\$4,155
Agosto	650	16	\$10,610	257	16	\$4,197
Septiembre	650	36	\$23,507	257	36	\$9,300
Octubre	650	32	\$20,567	257	32	\$8,136
Noviembre	650	24	\$15,415	257	24	\$6,098
Diciembre	650	32	\$20,649	257	32	\$8,169
TOTAL			\$175,232			\$69,323

* Un contenedor equivale a 600 kilos.

4. Conclusiones

La aplicación de herramientas básicas de manufactura y el empleo de métodos de pronósticos hacen posible la optimización de recursos, la reducción de costos y el incremento en la eficiencia de los procesos a bajo costo. Para elevar la competitividad empresarial no es necesario realizar grandes inversiones, solo aprovechar adecuadamente los recursos existentes. La valorización de residuos puede representar un ahorro sustancial en las operaciones de una empresa.

Referencias

- [1]. Montoya, C. C. P., Lozada, P. T., Holguín, C. J. V., & Rebellón, L. F. M. (2013). La logística de reversa y su relación con la gestión integral y sostenible de residuos sólidos en sectores productivos. *Entramado*, 9(1), 226–238.
- [2]. Hoyos, D. Á., Hincapié, M., Marín, J. M., Jiménez, L. M., & Valencia, G. M. (2013). Inventario de los residuos sólidos generados en las empresas antioqueñas pertenecientes a los principales sectores económicos del departamento. *Ingenierías USBmed*, 4(1), 27–36. doi:<http://dx.doi.org/10.21500/20275846.280>
- [3]. Semarnat. NOM-052-SEMARNAT-2005 (2006). Retrieved from http://www.inb.unam.mx/stecnica/nom052_semarnat.pdf
- [4]. Render, B., & Heizer, J. (2014). *Principios de administración de operaciones* (9th ed.). México, D.F.: Pearson Universidad.
- [5]. Kommula V. P, Mapfaira H, Gandure J, Mashaba K, Monageng R, & Samuel O. (2015). Improving productivity of a machine workshop through facilities planning. *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering*, 3(3), 187–192.
- [6]. Richard, C., Nicholas, A., & Robert, J. F. (2013). *Administración de operaciones* (12th ed.). México D.F.: McGraw-Hill.
- [7]. Perea, K. G. M., & López, O. R. (2015). Mejoramiento de la productividad mediante la reducción de costos en una línea manufacturera de arneses eléctricos. *Ingenierías USBmed*, 6(1), 5–12. doi:<http://dx.doi.org/10.21500/20275846.1719>

Reducción de residuos de materia prima en una empresa manufacturera

¹Karla Madrigal-Estrada, ¹Erika Beltran-Salomon, ¹Quetzalli Aguilar-Virgen, ¹Paul Taboada-González,
²Villegas Vidal Mario Abel, ²Escobar Muños Alexander

¹ Universidad Autónoma de Baja California. Calzada Universidad #14418, Parque Industrial Internacional Tijuana C.P. 22390
Tel. + 52 (664) 979 7500, Tijuana, Baja California. Email: kmadrigal@uabc.edu.mx

² Estudiante de Licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma de Baja California. Calzada Universidad #14418,
Parque Industrial Internacional Tijuana C.P. 22390

Resumen

El constante cambio y avance tecnológico hace que las empresas busquen formas innovadoras en la manufactura de sus productos, con la finalidad de reducir costos e incrementar su productividad. En este estudio se desarrolló un método mejorado en el proceso de corte de varilla con la finalidad de reducir los desperdicios de materia prima y tiempos de ciclo, y mejorar la calidad. Se realizó un análisis del proceso y la maquinaria actual, posteriormente se buscaron alternativas de máquinas para corte. Se realizaron procedimientos para el cambio del proceso para estandarizar el proceso de corte. Se redujo la cantidad de números de parte en un 71%, se logró una mejora del tiempo de producción del 52% y se logró reducir el desperdicio entre el 8% y el 32% dependiendo del número de parte. Los proyectos de mejora de procesos que tienen mayor son aquellos en los cuales se reduce el consumo de materia prima y/o aquellos que reducen la generación del desperdicio.

Palabras Clave: corte de metal, manufactura esbelta, optimización de proceso, reducción de residuos

1. Introducción

La competitividad y exigencia a la cual está sometida la industria maquiladora debido a la globalización de los mercados la lleva a buscar hoy más que nunca la optimización de sus procesos. Las empresas buscan mejorar los costos y la calidad para lograr mantenerse a un nivel competitivo deseable. Para ello, hacen uso de diversas técnicas y herramientas de análisis, como la manufactura esbelta.

En términos prácticos la manufactura esbelta se puede definir como una filosofía de gestión en una empresa, una manera de pensar, una cultura [1]. Esta consiste en los principios de valor agregado, visión sistémica, jalar y empujar. El principio esencial de esta filosofía es la eliminación del desperdicio en un sistema productivo, considerando como desperdicio todas las actividades que no agregan valor, pero que consumen tiempo, recursos y espacio, generando costos en el proceso de producción [2].

En las industrias manufactureras se desarrollan actividades que no aportan valor y generan desperdicios de diferentes tipos. Respecto al tiempo desperdiciado en operaciones que no generan valor, algunos estudios [2] reportan valores del 53%, mientras que otros [3] indican aproximadamente un 70%. De ahí la relevancia que adquiere cualquier proceso de mejora que reduzca el desperdicio en cualquiera de sus formas.

Actualmente en una empresa de fabricación de persianas ubicada en la ciudad fronteriza de Tijuana se están presentando problemas de desperdicio de material en varios de sus procesos. Este problema se desarrolla debido a que las tecnologías que se utilizan actualmente no son las más adecuadas para los procesos que se manejan dentro de la organización. Un estudio preliminar indicó que en el área de corte se desperdicia aproximadamente el 10% de materia prima (varilla) y que existen deficiencias como falta de capacidad de producción y estandarización. Esto se traduce en baja productividad y problemas de calidad.

Es importante señalar que los proyectos de mejora de procesos que tienen mayor impacto dentro de una organización son aquellos en los cuales se reduce el consumo de materia prima y/o aquellos que reducen la generación del desperdicio. Aproximadamente el 30% [4] de los costos de una empresa de manufactura se centra en la compra de materia prima, por lo cual una ganancia en este rubro equivale a un producto de menor costo que generara mayor utilidad.

Por lo expuesto, se realizó un estudio para desarrollar un método más eficiente en el proceso de corte de varilla. Mediante la utilización de las herramientas y principios de la filosofía de manufactura esbelta, se pretende reducir los desperdicios de materia prima, los tiempos de ciclo, mejorar la calidad, disminuir accidentes, mejorar la productividad, y lograr la estandarización del proceso.

2. Metodología/Desarrollo

Análisis de equipo.

Se recolectaron datos sobre las diferentes alternativas para el corte de varilla. Se revisaron los portales de los principales proveedores del mercado. Por la experiencia en el proceso, las características a revisar fueron: capacidad de corte, costo, flexibilidad para cambio de procesos, medidas de seguridad, tiempo de preparación y consumibles utilizados, temperatura de operación, voltaje de operación, dimensiones, y programa de mantenimiento. La información recolectada fue procesada en una hoja de Excel®.

Se recolectó información sobre las características del equipo de corte actual y se contrastó con la información obtenida de los proveedores. Un panel de operadores e ingenieros seleccionaron la opción más compatible con las condiciones de operación actual del proceso de corte.

Comparación de desperdicio

Se diseñó una planilla de inspección para recolectar información de una corrida piloto con el nuevo equipo. Los parámetros a registrar fueron: longitud del corte, desperdicio, cantidad de varillas obtenidas.

Se elaboró un formato para la toma de tiempo con el nuevo proceso de corte. Los datos que se incluyeron fueron: tiempo de ciclo de corte, longitud de corte, tiempos de preparación y paro de máquina.

Se realizó una corrida piloto para cada uno de los 41 números de parte de varillas con la nueva tecnología para contar con datos que sustentaran la inversión y el cambio propuesto. Las mediciones de las varillas se realizaron con un flexómetro de 5 metros.

Se recolectaron y analizaron los datos sobre desperdicio de materia prima generado durante este proceso. Se resumió la información en una tabla indicando para cada tipo de corte el desperdicio generado utilizando la maquinaria actual y el desperdicio generado por la maquinaria nueva, la cantidad de piezas cortadas para cada varilla con la maquinaria actual y con la nueva maquinaria, este sirvió como base para la toma de decisiones sobre el nuevo proceso.

Mejoras en el proceso

Se determinaron las áreas de oportunidad para cada parte y se obtuvo la propuesta de mejora para el proceso en estudio. Esto se logró mediante diagramas de flujo, diagramas bimanuales y diagramas de hombre máquina, los cuales son las principales herramientas de análisis para los procesos, según Niebel [5]. Para la elaboración de los diagramas se empleó el software Microsoft Visio®.

Se realizó una revisión y análisis de los puntos críticos en los procedimientos y manuales del proceso actual. Se identificaron oportunidades de mejora mediante entrevistas a los encargados de operar la maquinaria y a

los supervisores de dicho proceso. Así como también mediante la revisión de los documentos oficiales de dicha área.

Se establecieron procedimientos para la implementación del nuevo proceso en cada una de sus vertientes: proceso de manufactura, capacitación a empleados, compras, mantenimiento preventivo. En esta etapa se realizaron paneles de expertos los cuales utilizaron la lluvia de ideas para generar los nuevos procedimientos. Los procedimientos fueron desarrollados siguiendo la norma de calidad ISO:9000. Se establecieron los nuevos diagramas de flujo, hombre máquina y bimanuales utilizando el software Microsoft Visio®. Esta fase sirvió para lograr la estandarización y garantizar la calidad del nuevo proceso de corte.

3. Resultados y discusión

Análisis de equipos

Los cortes de varillas para la elaboración de persianas se realizaban con una cortadora eléctrica (ver Figura 1). Esta máquina mostraba condiciones inseguras para el operador debido a que no contaba con sistemas de seguridad. Operativamente el tiempo de ciclo en los cortes de varilla eran elevados y generaban alto desperdicio de materia prima tanto en la operación normal como en operaciones de re-trabajo. Los costos de mantenimiento también eran elevados y la vida útil de este tipo de máquina era muy corta con respecto al volumen de producto debido a que no está diseñada para alto volumen. Esto se traducía en paros constantes para reparación de la máquina.

Después de analizar varias opciones de maquinaria disponibles se seleccionó aquella que se adecuó a los requerimientos y características del proceso. Considerando la demanda y necesidad de la empresa se decidió implementar una máquina cortadora automatizada con el objetivo de reducir costos y mejorar los indicadores de esta área de corte. La máquina seleccionada para este cambio de proceso se muestra en la Figura 2. Las ventajas que proporciona el nuevo equipo son:

- Cortes de alta precisión.
- Fácil programación y operación.
- Reducción de tiempos muertos por ciclo.
- Mejora de producción de cortes hasta 65 Piezas por minuto.
- Consumo mínimo de energía.
- Sistemas de seguridad integrados (Paros de seguridad, guardas de protección)



Figura 1. Máquina cortadora manual usada en el proceso anterior de corte de varilla



Figura 2. Máquina de corte automatizada seleccionada para el nuevo proceso.

Comparación de desperdicio.

Los resultados obtenidos de corridas piloto con la nueva máquina automática indicaron un beneficio en cuanto a reducción de desperdicio de materia prima. Otros estudios [6] que introdujeron equipos semiautomáticos obtuvieron ahorros significativos y un incremento en su capacidad de 3.68%. En este estudio se obtuvo una ganancia de 25 piezas más de producción con respecto a la máquina que se utilizaba anteriormente. En la cortadora manual se producía un desperdicio de varilla por corte de 1/8" el cual corresponde al grosor del disco de corte que utilizaba la máquina. Este desperdicio no se puede reciclar debido a que se convierte en polvo o grano.

En la Tabla 1 se muestra un concentrado del desperdicio generado por ambas máquinas y nos muestra en cada número de parte la ganancia en piezas al cambiar el proceso con la nueva tecnología.

Mejoras en el proceso

Como resultado del cambio de máquina fue necesario realizar modificaciones en el proceso lo cual ayudó a mejorar el flujo de producción, surtido de materiales, tiempo de set-up, y se estableció un plan de mantenimiento preventivo que favoreció la reducción de paros por fallos de maquinaria.

En cuanto al proceso de producción se estandarizaron los cortes de varilla, anteriormente se realizaban 41 cortes diferentes de los cuales se realizaban 26 combinaciones para cumplir con la demanda de todos los modelos, ahora con la mejora del proceso solo se tienen que realizar 12 cortes diferentes, lo cual redujo la cantidad de números de parte en un 71% y con sus diferentes combinaciones se satisface la demanda de todos los modelos.

Por otro lado, mediante corridas piloto se determinó la cantidad de tiempo que se reduciría con este cambio de proceso. El resultado de lo anterior demostró que para cierto lote de productos de 150 piezas la nueva máquina ocupó un total de 6.15 horas para realizar el total de los cortes contando con los tiempos de preparación necesarios para cada corte comparado con las 12.98 horas de trabajo utilizadas bajo el proceso anterior en un mismo lote de 150 piezas. Lo cual demostró una mejora en cuanto a tiempo de producción del 52%.

Los resultados del proyecto lograron beneficios adicionales a los planteados originalmente, tales como:

- Reducción de tiempos de preparación de la máquina cortadora.
- Reducción los desperdicios de materia prima al momento de realizar el corte de una manera más precisa.
- Reducción de números de cortes de varillas (esto se obtuvo mediante la estandarización de 12 cortes que por medio combinaciones satisfacen la demanda de 38 medidas diferentes de persianas de 41 en total).
- Reducción de costos en mantenimiento
- Reducciones de errores de corte.
- Reducción de accidentes y mayor seguridad en el área de corte.
- Implementación de kanban debido a la reducción de números de parte (un área de trabajo más ordenado).
- Reducción en tiempos de re-trabajo.
- Mejora de calidad en producto final.
- Reducción de espacio en el área de trabajo

Tabla 1. Comparación de número de piezas de la cortadora manual vs cortadora automática

Medidas de corte (pulg)	Cantidad de piezas por varilla (maquina automática)	Scrap (maquina automática)	Cantidad de piezas por varilla (maquina manual)	Scrap (maquina manual)	Ganancia en varillas por cambio de maquina
15	16	0	14	0	2
17	14.1176	0.11	12.3676	0.36	2
19	12.6315	0.63	11.1315	0.13	1
21	11.4285	0.42	10.0535	0.05	1
23	10.4347	0.43	9.1847	0.18	1
25	9.6	0.6	8.475	0.47	1
27	8.8888	0.88	7.8888	0.88	1
29	8.27586	0.27	7.2758	0.27	1
31	7.7419	0.74	6.8669	0.86	1
33	7.2727	0.27	6.3977	0.39	1
35	6.8571	0.85	6.1071	0.1	1
37	6.4864	0.48	5.7364	0.73	1
39	6.1538	0.15	5.4038	0.4	1
41	5.8536	0.85	5.2286	0.22	0
43	5.5813	0.58	4.9563	0.95	1
45	5.3333	0.33	4.7083	0.7	1
47	5.1063	0.1	4.4813	0.48	1
49	4.8979	0.89	4.3979	0.39	0
51	4.7058	0.7	4.2058	0.2	0
53	4.5283	0.52	4.0283	0.02	0
55	4.3636	0.36	3.8636	0.86	1
57	4.2105	0.21	3.7105	0.71	1
59	4.0677	0.06	3.5677	0.56	1
61	3.9344	0.93	3.5594	0.55	0
63	3.8095	0.8	3.4345	0.43	0
65	3.6923	0.69	3.3173	0.31	0
67	3.582	0.58	3.207	0.2	0
69	3.4782	0.47	3.1032	0.1	0
71	3.3802	0.38	3.0052	0	0
73	3.2876	0.28	2.9126	0.91	1
75	3.2	0.2	2.825	0.82	1
77	3.1168	0.11	2.7418	0.74	1
79	3.0374	0.03	2.6629	0.66	1
81	2.9629	0.96	2.7129	0.71	0
83	2.8915	0.89	2.6415	0.64	0
85	2.8235	0.82	2.5735	0.57	0
87	2.7586	0.75	2.5086	0.5	0
89	2.6966	0.69	2.4466	0.44	0
91	2.6373	0.63	2.3873	0.38	0
93	2.5806	0.58	2.3306	0.33	0
95	2.5263	0.52	2.2763	0.27	0
TOTAL	----	20.74	----	18.47	25

En las tablas 2 y 3 se muestra un ejemplo de cómo fueron calculadas estos tiempos para la máquina manual y la máquina automática.

Tabla 2. Tiempos totales de corte para máquina cortadora manual

Numero de parte (corte)	Tiempo de corte (seg)	Cantidad piezas	Tiempo de corte total (min)
20	11	150	27.5
40	15	150	37.5
60	19	150	47.5
80	23	150	57.5

Tabla 3. Tiempos totales de corte para máquina cortadora automática

Numero de parte (corte)	Tiempo de corte (seg)	Cantidad piezas	Tiempo de corte total (min)	Tiempo de preparación (set-up)	Tiempo de corte total+ set-up (min)
20	1	150	2.5	6	8.5
40	2	150	5	6	11.5
60	3	150	7.5	6	13.5
80	4	150	10	6	16

En este estudio se obtuvo una reducción del tiempo de ciclo en un 52% y una reducción del desperdicio que varía de entre el 8% y el 32% dependiendo del número de parte. Otros autores que implementaron esta metodología [6] presentaron resultados que se aproximan a los obtenidos en este estudio. Aunque existen otros [7] que reportan porcentajes menores de mejoras en los tiempos de ciclo del proceso, del orden de 15%. El porcentaje de mejora cambiará de un proceso a otro, pero siempre se tendrá una mejora al aplicar estos principios.

4. Conclusiones

En este estudio se pudo comprobar que las herramientas de manufactura esbelta, en conjunto con el análisis del proceso y la evaluación de nuevas tecnologías, producen una mejora significativa en los principales indicadores de un proceso de manufactura tales como tiempo de ciclo, tiempo de preparación, desperdicio generado. Lo cual ayuda a la mejora de la productividad y competitividad de una empresa.

El sub-dimensionamiento de los equipos puede conducir a problemas de calidad, altos costos de mantenimiento y desperdicio de materia prima.

Referencias

- [1]. Carreira, B. (2005). *Lean Manufacturing that Works: Powerful Tools for Dramatically Reducing Waste and Maximizing Profits* (1st ed.). New York: AMACOM Div American Mgmt Assn.
- [2]. Botero, L. F. B., & Villa, M. E. Á. (2012). Identificación de Pérdidas en el Proceso Productivo de la Construcción. *Revista Universidad EAFIT*, 39(130), 64–78.
- [3]. Marmolejo, N., Mejía, A. M. M., Pérez Vergara I, I. G., Rojas, J. A., & Caro, M. (2016). Mejoramiento mediante herramientas de la manufactura esbelta, en una empresa de confecciones. *Ingeniería Industrial*, 37(1), 24–35.

- [4]. Meyers, F. E., & Stewart, J. R. (2001). *Motion Time Study for Lean Manufacturing* (3rd ed.). Upper Saddle River, N.J: Pearson Education.
- [5]. Niebel, B. (2009). *Ingeniería Industrial. métodos, estándares y diseño del trabajo* (13th ed.). México, D.F.: McGraw-Hill.
- [6]. Viteri, J., Matute, E., Viteri, C., & Rivera, N. (2016). Implementation of lean manufacturing in a food enterprise. *Enfoque UTE*, 7(1), 1–12.
- [7]. Aranibar, H. P., Delgado, N. R. F., & Hurtado, C. F. L. (2015). Propuesta de aplicación del pensamiento lean como mejora de los procesos de producción de una fábrica de chocolates y confituras. *Sinergia e Innovación*, 3(2), 42–80. doi:10.19083/sinergia.2015.435

Los residuos orgánicos provenientes de actividades culinarias, su reciclaje y utilidad: Un enfoque práctico

¹ Juana Edelia Vidales Paz, ² Claudia Estela Saldaña Durán, ² Sarah Ruth Messina Fernández

¹ Universidad Autónoma de Nayarit-Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas y Farmacéuticas, Ciudad de la Cultura Colonia Centro, 311-890-09-56, e-mail. jvidalespaz@hotmail.com

² Universidad Autónoma de Nayarit-Unidad Académica de Ciencias Básicas e Ingenierías

Resumen

La basura diaria que se genera contiene un alto porcentaje de materia orgánica que puede ser reciclada y devuelta a la tierra para plantas. La basura doméstica es uno de los fenómenos que más impacto tiene sobre el medio ambiente y sus recursos. Con base en lo anterior, se encuestaron a 75 casas con la finalidad de realizar un diagnóstico para conocer el número de ellas que practicaban el compostaje de sus desechos y por otro lado, saber la disposición final de sus residuos orgánicos provenientes de su cocina. Los resultados obtenidos mostraron que el 92% (69) no separan los residuos orgánicos, como cáscaras frutas, verduras, huevo o residuos de café, mientras que el 100% (75) no llevan a cabo la práctica de composta. Aunque la composta es el procedimiento mejor aplicado para la reducción y disposición final de los residuos sólidos urbanos, también es cierto que es importante difundir alternativas prácticas, que faciliten a los ciudadanos la reducción de este tipo de residuos en su entorno. En este sentido se plantearon dos propuestas prácticas para la disposición final de los residuos orgánicos de cocina, a través del uso como abono directo (ya sea triturado, picado o bien licuado) para su aplicación en sus macetas, jardines o áreas verdes de su entorno.

Palabras Clave: *Basura doméstica. Residuos Orgánicos*

1. Introducción

Actualmente, el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es de gran preocupación debido a que los sitios de disposición final están alcanzando su capacidad límite [1].

El reciclaje de los residuos orgánicos generados convierte a los residuos en insumos que pueden regresar al suelo, aportándole nutrientes y microorganismos benéficos, mejorando la capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico. El realizar reciclaje de los residuos orgánicos de cocina (cáscaras de frutas, de verduras, cascarones de huevo, café, etc.), es una potente herramienta de educación ciudadana. Sin embargo, el aspecto sociocultural tiene un papel crítico en el manejo de los residuos. Una de las alternativas mayormente difundidas para la solución de ésta problemática ambiental, resulta la elaboración de composta.

LA BASURA DOMÉSTICA Y COMERCIAL esto es, que no sea de manejo especial o de tipo peligroso, es uno de los fenómenos que más impacto tiene sobre el medio ambiente y sus recursos, esto puede implicar, entre otras situaciones, graves problemas en materia de salud pública, utilización de espacios y recursos, además de mayor contaminación ambiental, ya que son numerosos los ejemplos en los cuales, por una falta de cuidado en alguno de los múltiples procesos del sistema de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), se tienen consecuencias de gran impacto en el medio ambiente. En el **INFORME DE LA SITUACIÓN AMBIENTAL DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO** se señala que existen profundas relaciones entre la generación indiscriminada y mal manejo de los RSU y el cambio climático, el adelgazamiento de la capa de ozono, la creciente contaminación de suelos y cuerpos de agua, así como la proliferación de fauna nociva y la transmisión de enfermedades [2].

Desde esta perspectiva, los gobiernos de América Latina y el Caribe enfrentan la problemática de la gestión de residuos y sus impactos en un contexto de preocupación mundial por la sostenibilidad económica,

ambiental y social de los servicios, por ello existe la necesidad de apoyar y fortalecer la sostenibilidad social y la inclusión, en particular con respecto a la participación de la comunidad.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos produce múltiples impactos negativos sobre la salud de las personas y el medio ambiente (Fig. 1). Los residuos no recolectados o no dispuestos finalmente de una forma sanitariamente adecuada, pueden ocasionar un aumento en el número de casos registrados de enfermedades como dengue, leptospirosis, distintos trastornos gastrointestinales, dificultades respiratorias e infecciones dérmicas [3].

El aspecto sociocultural tiene un papel crítico en el manejo de los residuos. Uno de los principales problemas es la falta de conciencia, y/o conductas sanitarias por parte de la población para disponer de sus residuos, dejándolos abandonados en las calles, áreas verdes, plazas públicas, entre otros [4].

El reciclaje de los residuos orgánicos generados convierte los residuos en insumos que pueden regresar al suelo, aportándole nutrientes y microorganismos benéficos, mejorando la capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico. Desde el punto de vista medioambiental, este reciclaje de materiales al aplicarlos al suelo, proporciona muchos beneficios, tales como el incremento de la materia orgánica en el suelo, la reducción del metano producido en los rellenos sanitarios o vertederos municipales, y el aumento de la porosidad del suelo [5].

Los residuos orgánicos de cocina (cáscaras de frutas, de verduras, cascarones de huevo, café, etc.), al hacer las amas de casa, la gestión ecológica de sus residuos genera cambios de comportamiento ante el problema de los residuos a nivel municipal para un ayuntamiento, ya que representa conciencia de educación ciudadana [6].

Como lo han detallado los artículos que componen el Reporte CESOP-2012, para evitar la generación de basura y su proliferación, así como para realizar un adecuado tratamiento, reciclado y desecho de los desperdicios, la sensibilización de los ciudadanos y su participación son fundamentales para el éxito de una política o de un programa en esta materia [7].



Figura. 1. Generación de residuos orgánicos provenientes de cocina

La basura diaria que se genera contiene un 33% de materia orgánica, que puede ser reciclada y devuelta a la tierra para plantas y cultivos, contribuyendo a la reducción de los desechos que se llevan a los vertederos, sin embargo, debido al desconocimiento, a la falta de un espacio adecuado, o de tiempo, las prácticas habituales con estos residuos son la quema, el enterramiento o el abandono del material a la intemperie hasta su pudrición [8].

Son numerosos los ejemplos en los cuales, por una falta de cuidado en alguno de los múltiples procesos del sistema de los RSU, se tienen consecuencias de gran impacto en el medio ambiente. En el Informe de la situación ambiental del medio ambiente en México 2012, este señala que existen profundas relaciones entre la generación indiscriminada y mal manejo de los RSU y el cambio climático, el adelgazamiento de la capa de ozono, la creciente contaminación de suelos y cuerpos de agua, así como la proliferación de fauna nociva y la transmisión de enfermedades [9].

Considerando la clasificación de los RSU en tres categorías: susceptibles de aprovechamiento (cartón, papel, lata vidrio, etc.), orgánicos (fibra dura vegetal, residuos alimenticios hueso, residuos de jardinería y madera) y otros (algodón, trapo, material de construcción, loza y cerámica) se estima que casi 40% de la generación total de estos residuos es susceptible de ser aprovechada, por lo que es indispensable la recolección selectiva, es decir, la captación diferenciada (segregada o separada), desde el origen. Por lo que para evitar la generación de los RSU, así como para realizar un adecuado tratamiento, reciclado y desecho de los desperdicios, la sensibilización de los ciudadanos y su participación son fundamentales para el éxito de una política o de un programa en esta materia [10].

Las plantas (como las personas) necesitan una “alimentación balanceada”, que incluyen los 13 nutrientes clasificados como micronutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Azufre) y macronutrientes (Hierro, Manganeseo, Zinc, Cobre, Magnesio, Boro, Cloro y Molibdeno) [15], elaborando su biomasa a través del agua, bióxido de carbono tomado del aire, energía solar y nutrientes extraídos del suelo y del agua, para un óptimo crecimiento, siendo esenciales para el crecimiento de la planta, la cual los toma del suelo o del agua –por irrigación, este material orgánico puede ser usado para incrementar la cantidad de materia orgánica en el suelo y, por ende, aumentar la capacidad de retención de agua, incrementar la capacidad del intercambio catiónico y mejorar las condiciones físicas del suelo y por ende de las plantas [16], es por ello que la incorporación de la materia orgánica al suelo mejora muchas propiedades químicas, físicas y microbiológicas que favorecen el crecimiento de las plantas [17, 18].

Es por ello que cuando los residuos se gestionan de forma adecuada se convierten en recursos que contribuyen al ahorro de materias primas, a la conservación de los recursos naturales, del clima y a un desarrollo sostenible, que se traduce en ventajas como la reducción de los vertederos, menores emisiones de dióxido de carbono y metano, ahorro de agua y ahorro de energía.

La Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo sobre los residuos, recomienda la siguiente jerarquía de gestión: 1. Prevención 2. Preparación para la reutilización 3. Reciclado 4. Otro tipo de valorización, por ejemplo, la valorización energética 5. Eliminación.

El término “prevención de residuos” se puede considerar sinónimo de “reducción de la generación de residuos” y se refiere a todas aquellas medidas adoptadas antes de que una sustancia, material o producto se haya convertido en residuo. la preparación para la reutilización permite reutilizar un producto o algún componente de un producto que de otra forma se hubiera convertido en un residuo, sin aplicar ningún tratamiento previo adicional; el siguiente elemento en la jerarquía de la gestión integral se refiere al reciclado de los residuos, este término de “reciclado” incluye toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, e incluye la transformación del material orgánico [19].

Una de las alternativas mayormente difundidas para la solución de ésta problemática ambiental, resulta la elaboración de composta, cuya sumatoria incluye procesos metabólicos realizados por diferentes microorganismos, que incluyen cuatro etapas: mesófila (2-5 días), termófila (1-3 semanas) de enfriamiento (2 a 5 semanas) y maduración (3-6 meses), así como la necesidad de controlar los factores como: humedad, aireación, temperatura, pH, entre otros [5], por lo que en virtud de todo estos aspectos que incluye dicho

proceso, resulta muchas veces difícil a la sociedad actual, llevar a la práctica el compostaje de residuos orgánicos.

2. Metodología/Desarrollo

2.1 Diagnóstico de Manejo de Residuos Orgánicos de Cocina

Con el objeto de conocer el manejo que las amas de casa realizan a los residuos orgánicos que se generan producto de sus actividades culinarias o derivados de los patrones de consumo al interior de sus familias, se aplicaron encuestas voluntarias en vía pública, a fin de hacer un diagnóstico sobre su disposición final (Tabla 1). Las preguntas fueron las siguientes:

- Como ama de casa ¿Separa la basura (orgánica o inorgánica.)?
- Como ama de casa ¿Separa los residuos orgánicos? (cáscaras de frutas, verduras, huevo o residuos de granos de café, entre otros.)
- ¿Qué hace con los residuos orgánicos?: Composta o los tira directamente a la basura

3. Resultados/Discusión

Los resultados, obtenidos de la encuesta voluntaria que fue resuelta por 75 amas de casa sobre el Manejo de sus Residuos Orgánicos fueron los siguientes (Tabla 1):

Tabla 1. Resultados de la Encuesta sobre el Manejo de los Residuos Orgánicos de Cocina.

	1 Nunca	2 Algunas veces	3 Siempre
Como ama de casa ¿Separa la basura (orgánica o inorgánica.)?	57	6	10
Como ama de casa ¿Separa los residuos orgánicos? (cáscaras de frutas, verduras, huevo o residuos de granos de café, entre otros.)	69	6	1
¿Qué hace con los residuos orgánicos anteriores?			
Composta	5		
Los tira directamente a la basura	2	6	67

El 76 % (57) de las amas de casa manifestaron que nunca separan la basura orgánica ni inorgánica, mientras que un 92% (69) no separan los residuos orgánicos, como cáscaras frutas, verduras, huevo o residuos de café.

Respecto a la disposición final de los residuos orgánicos, el 100% (75) de ellas no practica la composta, mientras que el 89% (67) tiran directamente en la basura este tipo de residuos.

Por lo que con base en los resultados obtenidos, y considerando la falta de iniciativa para llevar a cabo el proceso de compostaje, como alternativa del *manejo de los residuos orgánicos de cocina*, debido principalmente a la falta de tiempo y/o espacio, a continuación se presenta una modesta alternativa hacia un cambio que mejore la *educación ambiental* en este segmento de generación de residuos sólidos, con la finalidad de disminuir la contaminación del medio ambiente, y la cantidad de los residuos que se depositan en la basura, que lamentablemente deterioran la calidad de aquellos que podrían ser reciclables, debido a que se ponen en contacto.

A continuación se presentan dos propuestas prácticas, que de llevarlas a cabo, la disposición final de los residuos orgánicos provenientes del consumo, manejo o preparación de verduras, frutas u hortalizas en las cocinas disminuiría significativamente. Estas propuestas son:

1.- Tener en la cocina siempre un recipiente con tapa para las cáscaras de frutas, vegetales, hortalizas, cáscaras de huevo, residuos de granos de café, que se generan diariamente (Fig. 1), lo cual evitará se contaminen los residuos aprovechables que se depositan en la basura y que no se separan para reciclar.



Figura. 1. Depósito para el acopio de Residuos Orgánicos provenientes de Cocina

2.- Una vez colectados dichos residuos, se pueden manejar de dos formas:

- a) Se podrán emplear directamente como abono para las plantas, macetas o jardines de las casas, ya sea triturados o tal como se generen.
- b) Se podrán también agregar a una licuadora y con un poco de agua y licuarlos, para de ahí vaciarlo directamente a las plantas, lo cual permitiría hidratar a la planta además de nutrirla.

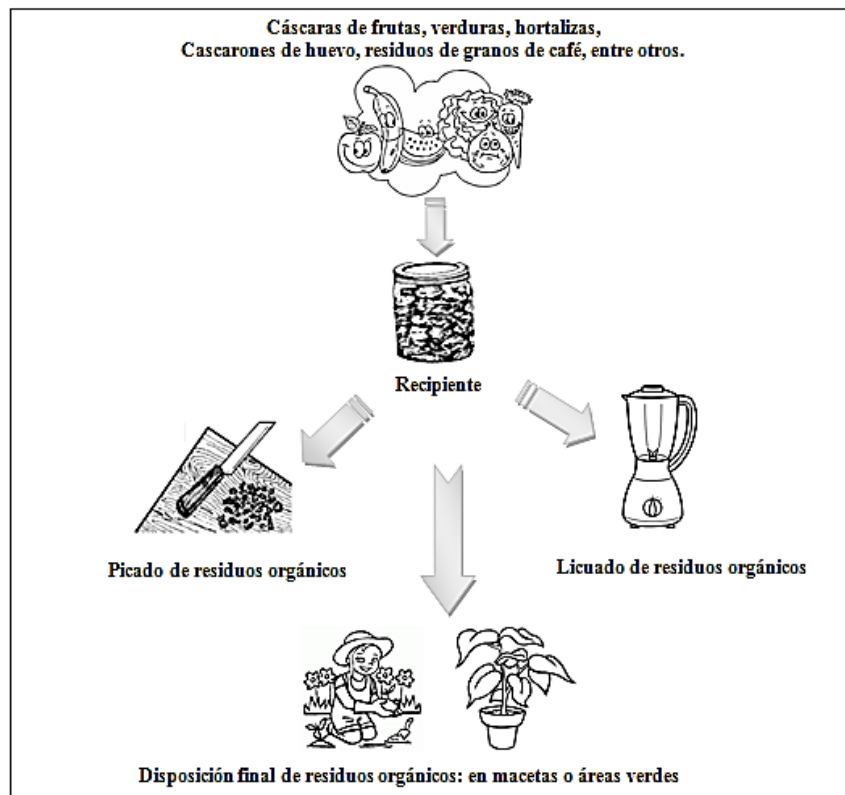


Figura. 2. Manejo y disposición final de Residuos Orgánicos provenientes de actividades culinarias, su reciclaje y utilidad.

Se considera que esta propuesta práctica podría representar una herramienta de educación ambiental ciudadana (Fig. 2), ya que podría generar cambios de comportamiento, actitud y sensibilidad ante el problema de los residuos sólidos orgánicos, los cuales son uno de los mayores porcentajes presentes en los

residuos sólidos urbanos que representan una potencial amenaza a salud pública de la comunidad, ya que como fue posible observar en los resultados de la encuesta el 92% de las amas de casa no separa los residuos orgánicos producto de sus actividades culinarias y el 100% no realiza composta.

4. Conclusiones

Aunque la composta es actualmente el procedimiento mejor aplicado para la reducción y disposición final de los residuos sólidos urbanos, también es cierto que es importante proponer alternativas prácticas que faciliten a los ciudadanos la reducción de este tipo de residuos en su entorno, y que a la vez los lleven a la práctica de forma individual y familiar para la solución al problema actual, lo cual permitiría un mejoramiento en la gestión integral de los residuos sólidos, del medio ambiente y la salud pública, y por ende a un cambio de paradigma, haciéndonos más conscientes y sensibles, por el contacto directo que se tendría con la belleza de la naturaleza de sus jardines y áreas verdes de sus casas habitación [11, 12, 13, 14] debido al reciclaje de los residuos orgánicos al ser depositados en la tierra de las plantas, debido a la nutrición y/o hidratación [15, 16, 17] que recibirían al realizar ésta práctica.

Referencias Bibliográficas

- [1] Castillo González-De Medina Salas. (2014). Revista Internacional de Contaminación Ambiental . Generación y Composición de Residuos Sólidos Domésticos en Localidades Urbanas Pequeñas en el Estado de Veracruz, México. <<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n1/v30n1a7.pdf>> Recuperado el 14/05/2016.
- [2] Carrasco Escobar-Rodríguez Silva (2015). Revista Internacional de Geografía y Estadística: Análisis de estadísticas del INEGI sobre residuos sólidos urbanos. En línea <http://www.inegi.org.mx/RDE/rde_14/doctos/rde_14_opt.pdf> Recuperado el 14/05/2016.
- [3] Tello-Espinoza P.; Martínez- Arce, E.; Faure-Martín, S.; Terraza, H. (2010). Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe.
- [4] Rojas, W. Impacto Social de los Residuos Sólidos. <www.academia.edu/10570207/Impacto_social_de_los_residuos_solidos> Recuperado el 6/05/2016.
- [5] Wambeke, V. J.; Román, P.; Martínez, M.; Pantoja, A. (2013). Manual de Compostaje del Agricultor Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- [6] Compostaje doméstico. Grupo de Acción para el medio ambiente (GRAMA). <<http://www.asociaciongrama.org/documentacion/manuales/dipticocompost.pdf>>. Recuperado el 6/05/2016.
- [7] Meixueiro Nájera- Arellano Trejo. Preocupación y cambio de hábitos para el manejo de los residuos. Reporte CESOP-2012. No. 51. <https://www.google.com.mx/webhp?sourceid=chrominstant&rlz=1C1ASRM_enMX617MX619&ion=1&espv=2&ie=UTF8#q=PREOCUPACI%C3%93N+Y+CAMBIO+DE+H%C3%81BITOS+PARA+EL+MANEJO+DE+LOS+RESIDUOS+Gustavo+Meixueiro+N%C3%A1jera*+Efr%C3%A9n+Arellano+Trejo**>>
- [8] Manual para el Compostaje Individual. Departamento para el Desarrollo Sostenible. <http://www4.gipuzkoa.net/medioambiente/compostaje/down/manual_compostaje.pdf> Recuperado el 8/05/2016.
- [9] Carrasco Escobar-Rodríguez Silva. Análisis de estadísticas del INEGI sobre residuos sólidos urbanos . **Edición: Vol.6 Núm.1 enero-abril 2015.** <<file:///C:/RESIDUOS%20SOLIDOS/REVISTA%20INTERNACIONAL%20DE%20ESTAD%20C3%8DSTICA%20Y%20GEOGRAF%C3%8DA.html>> Recuperado el 5/06/2016.
- [10] Góngora Pérez, J.P. El reciclaje en México. Comercio Exterior, vol. 64, núm. 3, mayo y junio de 2014. <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/757/2/reciclaje_mexico.pdf> Recuperado el 5/07/2016.

- [11] Trigo, M. Territorio y configuración de la ciudad. Vegetación Urbana. Agenda 21 Málaga. <http://www.omaui-malaga.com/agenda21/subidas/archivos/arc_92.pdf> Recuperado el 10/07/2016.
- [12] La Relación Vegetación, Arquitectura y Clima en la Historia. <<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6124/02JM02de12.pdf;jsessionid=FA7>A0AA0B989B5AB7065769EA13755A9.tdx1?sequence=2>>. Recuperado el 1/07/2016.
- [13] Galindo, B.;-Victoria, U. La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el Valle de Toluca Quivera, vol. 14, núm. 1, enero-junio. <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894006>>. Recuperado el 1/07/2016.
- [14] Hernández, P. Vegetación urbana en Santiago de Chile. <<http://www.revistaurbanismo.uchile.cl/index.php/RU/article/viewFile/272/218>>. Recuperado el 1/07/2016.
- [15] Los Nutrientes de las Plantas. <<http://www.worldagroforestry.org/NurseryManuals/CommunityESP/LosNutrientes.pdf>> Recuperado el 5/07/2016.
- [16] Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Dirección de fomento de tierras y aguas organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. <<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/gepnms.pdf>> Recuperado el 8/07/2016.
- [17] Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Dirección de fomento de tierras y aguas organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. <<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/gepnms.pdf>> Recuperado el 3/07/2016.
- [18] Molina, E. Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica. <<http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>>. > Recuperado el 10/07/2016.
- [19] Rojas, Castillo L.D. (2012). La importancia de la participación ciudadana en los programas de recogida selectiva de residuos sólidos urbanos. Análisis de la población inmigrante de la ciudad de Valencia, España. Tesis Doctoral. <http://mobiroderic.uv.es/bitstream/handle/10550/25456/TESIS_LDRC_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Recuperado el 10/07/2016

SECCION 4

IMPACTO Y RIESGO

AMBIENTAL

Contaminación por residuos sólidos en la bahía de Chetumal, Quintana Roo.

Liliana Isabel Gamboa Magaña; Citlali Guadalupe Carrillo García

lilianagm93@gmail.com – ilaltic9012@gmail.com

Universidad de Quintana Roo, Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, Del Bosque, 77019 Chetumal, Q.R. Tel. 01 983 835 0300.

Resumen

Hay residuos sólidos en todas partes del medio marino y costero transportados por corrientes marinas o desechados directamente. La Bahía de Chetumal es un sistema estuarino basto en fauna y vegetación. Es un cuerpo de agua semicerrado que se encuentra comunicado al Mar Caribe. Es considerado el santuario del manatí y lugar donde brota el manglar rojo. Actualmente la mala disposición de los residuos sólidos por actividades sociales en el boulevard es considerada una problemática ambiental a raíz de una problemática social. Por lo tanto, este trabajo se realizó con el objetivo de examinar las condiciones de la bahía de Chetumal por la contaminación de residuos sólidos. Para la caracterización de los residuos sólidos costeros se eligieron dos puntos de muestreo. Cada muestreo se realizó con 50 metros de largo por 15 metros de ancho en cada transecto. Posteriormente se elaboró la cuantificación de la clasificación de los residuos con ayuda de una balanza de plataforma digital. Se recurrió a fuentes como artículos de investigación y notas periodísticas sobre residuos sólidos. Se obtuvo que el residuo con más peso es el vidrio de color que representa el 36% del total en el primer transecto y 49% en el segundo. Subproductos como el polipropileno y el poliestireno fueron registrados con peso despreciable sin embargo son abundantes en unidades. En las costas se observa mayor presencia de plástico de alta densidad arrastrados por las corrientes, que en la Bahía. Esto posiblemente por las actividades recreativas que se llevan a cabo.

Palabras Clave: *Corrientes marinas, mar Caribe, residuos sólidos, vidrio de color.*

1. Introducción

El hombre actúa fundamentalmente en la franja terrestre inmediata al mar y en la franja marina inmediata a la costa. Su actuación es de orden físico, por aporte de residuos o por explotación de recursos. Los sistemas costeros y estuarinos junto con la biodiversidad que los habitan sufren daños graves por la actividad antropogénica (. El área de estudio es la bahía de Chetumal, la cual se trata de un cuerpo de agua estuarino con características peculiares. Está rodeada de flora y fauna asociadas a comunidades tropicales de humedal, manglar y diversos tipos de vegetación terrestre, como las selvas bajas y medianas. Los ambientes acuáticos y terrestres de esta región albergan una alta biodiversidad, incluyendo a plantas y animales que son endémicos, y a otros que se encuentran en peligro de extinción y en otras categorías de riesgo o protección. En esta región hay 7 zonas de protección (sumando a Banco Chinchorro) que se decretaron y pusieron al cuidado de diferentes niveles de gobierno, en México y Belice. Sin embargo, la integridad y el mantenimiento de su biodiversidad se encuentran en riesgo por las actividades humanas que se desarrollan alrededor de este cuerpo de agua, por no haber un seguimiento real de los planes de manejo en todas las zonas con decretos de protección, y por no existir o no aplicarse una legislación ambiental que impida seguir con el deterioro ambiental.

En México los residuos sólidos son una fuente importante de contaminación ya que no cuenta con una adecuada gestión y, por lo tanto, tampoco con una correcta disposición final, por lo que se han generado problemas ambientales como la contaminación de cuerpos de agua, generación de malos olores, acumulación de gases tóxicos, contaminación visual, enfermedades, entre otros, aportando grandes problemas de salud ambiental y poniendo en riesgo a la población debido al foco de infección que representan. El efecto ambiental más evidente del manejo inadecuado de los residuos sólidos lo constituye el deterioro estético de las ciudades, así como del paisaje natural, tanto urbano como rural, con la

consecuente devaluación de los ecosistemas. Además de que en el medio marino los seres vivos establecen sus cadenas tróficas, en las que es frecuente que se vayan acumulando diversos contaminantes.

Este trabajo presenta un muestreo de caracterización y clasificación de subproductos de residuos sólidos en dos de los lugares más concurridos en la Bahía de Chetumal aunado a una recopilación de estudios y/o diagnósticos hechos sobre contaminación de residuos sólidos tanto en la bahía de Chetumal como en la zona costera de Quintana Roo para poder realizar un análisis comparativo de cómo se comportan estos contaminantes en función de sus características físicas y el uso recreativo de las zonas. También se realizan algunas recomendaciones para promover la correcta gestión de los residuos sólidos con el fin de ayudar a la preservación de un sistema marino tan peculiar como lo es la bahía de Chetumal.

2. Metodología/Desarrollo

2.1 Área de estudio

La Bahía de Chetumal está localizada en el Caribe Mexicano con las coordenadas 18° 33' N y 88° 08' O, es una de las más extensas de México; se encuentra ubicada en la zona sureste de la península de Yucatán y es compartida geográfica y políticamente por México y Belice. Se trata de un cuerpo de agua semi-cerrado que se encuentra comunicado al Mar Caribe en su porción sureste por una boca de aproximadamente 20 km de ancho. Ocupa un área aproximada de 2560 km² incluyendo el área perteneciente a Belice y con profundidad promedio de 4 m.

2.2 Campo:

Para la caracterización de los residuos sólidos costeros se eligieron dos puntos de muestreo los cuales se realizaron en un solo día, exactamente 10 de Abril (2016), después del periodo de semana Santa. El primer transecto se ubica en la Av. Boulevard Bahía entre la Av. Plutarco Elías Calles y Lázaro Cárdenas. El segundo transecto se ubica en el muelle de Calderitas. Cada muestreo se realizó con 50 metros de largo por 15 metros de ancho en cada transecto. Para la identificación de cada residuo se tomó como referencia la simbología de SEMARNAT sobre la Clasificación de RS, y para la identificación de polímero del plástico se recurrió a métodos de identificación como la marca normalizada, el aspecto físico y la densidad relativa. Posteriormente se elaboró la cuantificación de la clasificación de los residuos con ayuda de una balanza de plataforma digital para obtener el diagnóstico de dichos subproductos.



Figura 1. Área de estudio

2.3 Revisión bibliográfica:

Se compiló información relevante con relación a la zona estuariana de Chetumal y las zonas costeras de Quintana Roo sobre la incidencia de los residuos sólidos costeros en estos puntos provenientes de distintas fuentes de información como artículos científicos, reportajes periodísticos, libros sobre residuos sólidos y páginas web de instituciones gubernamentales afines al tema. Se consultó la NMX-AA-120-SCFI-2006 que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas.

3. Resultados

Con base en las gráficas obtenidas mediante la caracterización de residuos sólidos en los dos transectos se obtuvo lo siguiente (Tabla1).

Tabla 1. Residuos sólidos del primer y segundo transecto

Clasificación	peso,Kg	
	Transecto 1	Transecto 2
Artes de pesca	0.015	
Cartón	0.095	0.03
Carton encerado		0.03
Fibra sintética		
Focos		
Hueso		
Hule		
Latas	0.16	
Loza y ceramica	0.75	
Madera	0.01	
Material ferroso	0.16	0.03
Materiales de construcción		0.15
Medicamentos		
Pañales		0.375
Papel	0.04	0.01
Papel higienico		
PET	2.62	0.04
Pilas		
Plástico de alta densidad	0.65	0.005
Plástico de película	0.68	0.13
Plastico metalizado	0.025	0.01
Poliestireno	0.03	0.05
Polipropileno	0.7	0.15
Poliuretano	0.005	
Residuos alimenticios		
Tela	2.5	
Vidrio de color	5.7	1.175
Vidrio transparente	1.55	0.215
Zapatos	0.315	
Total	16.005	2.4

El residuo con más peso es el vidrio de color, el cual representa el 36% de los residuos desechados en el primer transecto (Fig 1). Se puede deducir también que el subproducto que secunda al vidrio es el PET (16%) seguido de la tela (15%). Cabe mencionar que este punto de muestreo no cuenta con la atención suficiente de mantenimiento, por lo que este sitio puede clasificarse como un lugar clandestino donde los residuos son desechados.

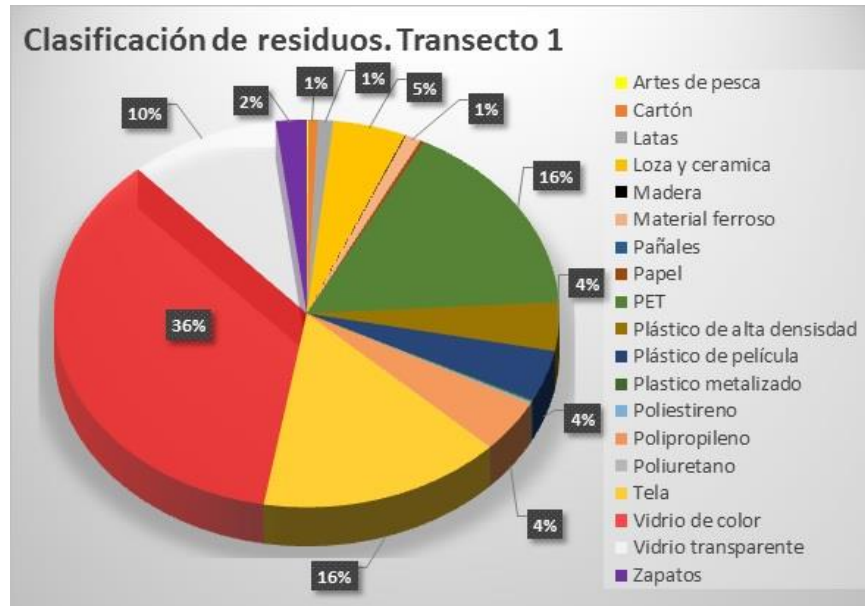


Figura 2. Porcentaje de subproductos del primer transecto.

En el segundo transecto el vidrio de color predomina con un 49%, seguido de los pañales desechables con 16%. En este sitio la concurrencia social es más notoria, por lo que se clasifica como un sitio de recreación social. Cabe destacar que los subproductos como el polipropileno y poliestireno (desechables y unice) son abundantes en unidades, pero su peso no es significativo debido a su densidad.

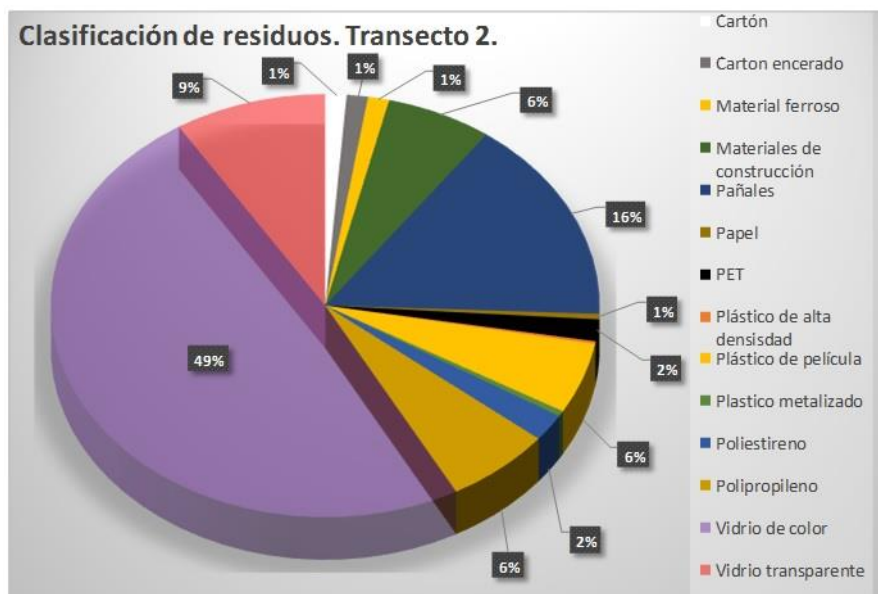


Figura 3. Porcentaje de subproductos del segundo transecto.

4. Discusión

De acuerdo a la caracterización y clasificación el vidrio de color es el residuo con mayor porcentaje en ambos transectos en cuanto a su peso, sin embargo, la presencia de subproductos como el PET, tela, pañales desechables, el plástico rígido (tapas de refrescos), plástico de película y polipropileno (popotes), son desechos que se encuentran en grandes cantidades hablando en unidades.

Haciendo una comparación de los resultados obtenidos de los estudios sobre residuos costeros que arriban a la Costa Maya de Quintana Roo realizados en 2014 por alumnos de la universidad de Quintana Roo se puede observar que en zonas expuestas a mar abierto, los residuos sólidos que llegan provienen de distintas partes del mundo siendo el más abundante el plástico rígido (de alta densidad) con 37%, también se observaron importantes cantidades de PET y zapatos. Mientras que en las costas de los sistemas que tienen acceso limitado al océano como los sistemas estuarinos reciben aportes de residuos locales y éstos se centran en residuos como utensilios desechables, botellas PET y vidrio que son utilizados por las personas durante actividades recreativas dentro de la misma zona.

5. Conclusiones

Con base a las gráficas obtenidas de la caracterización de residuos, se concluye que el residuo más concurrente en la bahía de Chetumal en los transectos realizados es el vidrio de color. Es evidente la gran diversidad de residuos en estos puntos y otros sitios a lo largo de la Bahía. Sin embargo, los lugares de concurrencia de la población, como son los parques, estacionamientos y muelle cuentan con mayor atención en cuanto a la disposición de los residuos, por lo que esta problemática es más evidente en las zonas costeras con vegetación abundante que no son aptas para la recreación.

Comparando la observación y caracterización de la bahía con los resultados de los estudios en diferentes sitios de la costa quintanarroense, se deduce que la influencia de las corrientes marinas sobre la costa es más notoria que en la Bahía, esto debido a su limitado contacto con mar abierto, aun cuando recibe gran influencia de los vientos. Otro factor importante es el tipo de actividad que se lleva a cabo en la zona: mientras que en la bahía de Chetumal predomina el uso recreativo dirigido a familias y jóvenes, en otras partes de la costa el turismo es de alto impacto y las cantidades de residuos sólidos generados son mucho mayores. Sin embargo, los subproductos que se encontraron en mayor porcentaje concuerdan con los observados en la bahía de Chetumal, siendo los diferentes tipos de plástico los de mayor abundancia, pero siendo el vidrio el de mayor peso.

Un aspecto de gran importancia es que la información sobre los microplásticos en zonas costeras y estuarinas quintanarroenses es aún muy escasa. No sabemos qué cantidad llega, ni cuál es su comportamiento una vez allí, y tampoco la abundancia

Referencias Bibliográficas

- De Jesús Navarrete, A., Oliva Riviera, J., V., V. B., & Quintero López, N. (2000). Distribución de sedimentos en la Bahía de Chetumal. *Hidrobiológica*, 61-67.
- Espinoza Avalos, J., Islebe, G., & Héctor, H. A. (2009). *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal: costa occidental del Mar Caribe*. Chetumal: ECOSUR.
- Guevara Franco, J. L., Flores Castillo, L. P., Canul Azcorra, S., Aburto Espinosa, D., & Romero Campos, G. (2011). *Caracterización y cuantificación de subproductos de residuos sólidos en las playas del sur de costa Maya, Quinatana Roo*. Obtenido de <http://www.redisa.uji.es/artSim2011/CaracterizacionDeResiduosSolidos/Caracterizaci%C3%B3n%20y%20cuantificaci%C3%B3n%20de%20subproductos%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20en%20las%20playas%20del%20sur%20de%20Costa%20Maya,%20Quintana%20Roo.pdf>
- Lichtinger, V. (2001). *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales*. México, D.F.: SEMARNAT.

- Mena, E. (10 de Abril de 2013). Sian Ka'an: la reserva de la ¿basura? *Novedades Quintana Roo*, pág. 1.
- Merino Ibarra, M., & Otero Dávalos, L. (1983). *Atlas ambiental costero. Puerto Morelos, Quintana Roo*. ICMYL-UNAM .
- Morales Vela, B., Olivera Gómez, D., & P., R. G. (1996). *Conservación de los manatíes en la región del caribe de México y Belice*. Chetumal: ECOSUR.
- PNUMA. (2013). *Microplásticos. Asuntos emergentes*. Obtenido de http://www.unep.org/yearbook/2013/pdf/Microplastic_spanish.pdf
- SEMARNAT. (31 de Octubre de 2014). *Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial*. Obtenido de <http://www.semarnat.gob.mx/temas/residuos-solidos-urbanos>
- SEMARNAT. (s.f.). *Guía de diseño para la identificación gráfica del manejo integral de los RSU*. Obtenido de <http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/residuos/solidos/Documents/guia-diseno.pdf>
- Seoáñez, & Mariano. (2000). *Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos*. España: Mundi-Prensa.

Determinación de las emisiones de CH₄ y CO₂ en sitios de confinamiento de residuos sólidos urbanos: comparación con modelos teóricos

¹Iván Yassmany Hernández Paniagua, ²Otoniel Buenrostro Delgado

¹Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey, Av. Eugenio Garza Sada 2501, Monterrey, N.L., México, 64849, Tel. +52 (81) 8358 2000 Ext. 5290. iyassmany@itesm.mx.

²Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Resumen

Reducciones en la emisión de CH₄ podría disminuir su creciente forzamiento radiativo en un corto plazo. El CH₄ es emitido por fuentes naturales y antropogénicas, entre ellas el manejo y disposición de residuos sólidos urbanos. Las emisiones teóricas de CH₄ en sitios de confinamiento se basan en la constante de generación y el potencial de generación de CH₄, k y L_0 , respectivamente. Sin embargo, variaciones de k y L_0 de un sitio a sitio pueden llevar a sub- o sobre-estimaciones de las emisiones teóricas de CH₄ del sitio. En el presente estudio se calcularon k y L_0 usando datos experimentales de composición de los residuos sólidos urbanos confinados en el sitio controlado clausurado de Morelia, Mich. Se estimó la emisión de CH₄ y CO₂ en el sitio de estudio usando k y L_0 obtenidas de forma experimental. Además, las emisiones teóricas calculadas de CH₄ y CO₂, se compararon con los resultados de las mediciones de las mismas en los tubos de venteo y superficiales.

Se observó entre un 53.0-73.7 % de fracción orgánica del total de los residuos confinados, la cual disminuye de forma proporcional al tiempo de confinamiento. Variaciones espaciales de la fracción orgánica se atribuyen no sólo al tiempo de confinamiento de los RSU, sino también a la prevalencia de condiciones no óptimas de temperatura, pH y contenido de humedad, que conduzcan a la estabilización de los RSU confinados en un periodo corto. Las emisiones CH₄ y CO₂ en los tubos de venteo se calcularon en 6.3×10^3 Ton año⁻¹ y 10.7×10^3 Ton año⁻¹, respectivamente, y en la superficie 1.9×10^3 Ton y 0.9×10^3 Ton, respectivamente. Las emisiones de CH₄ calculadas con el modelo mexicano de biogás v.2 son subestimadas alrededor de 70 %, respecto de las emisiones determinadas de forma experimental. La información presentada en éste trabajo muestra que los datos teóricos pueden diferir significativamente con datos experimentales, en este caso más de 50 %, lo que implica mayor incertidumbre en los inventarios de emisiones.

Palabras Clave: *Biogás, inventario de emisiones, modelo mexicano*

1. Introducción

El CH₄ atmosférico es un gas de efecto invernadero (GEI), y contribuye directamente con 0.5 W m^{-2} e indirectamente con 0.2 W m^{-2} al forzamiento radiativo total [1]. El CH₄ tiene una vida media de alrededor de 9 años en la atmosfera, una reducción de las emisiones de CH₄ podría tener un impacto positivo a corto plazo en el cambio climático [2]. El CH₄ es emitido por fuentes naturales (océanos, humedales, termitas, etc.) y antropogénicas (explotación y quema de combustibles fósiles, rumiantes, actividades agrícolas y manejo de residuos sólidos y líquidos). Las emisiones de GEI de fuentes antropogénicas se calculan actualmente usando factores de emisión, sin embargo, estos pueden no ser representativos de la región y sitio que desea caracterizar. Ello remarca la necesidad de contar con datos precisos sobre las emisiones de GEI, los cuales son cruciales para el diseño e implementación de políticas de reducción de emisiones.

Las emisiones de CH₄ generadas en sitios de confinamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) se estiman alrededor de 50-60 Tg CH₄ año⁻¹ [1]-[3]. Las emisiones de CH₄ en sitios de confinamiento de RSU, se calculan usando modelos matemáticos de generación de primer orden, los cuales se basan en las constantes

índice de generación y potencial de generación de CH_4 , k y L_0 , respectivamente. Entre los modelos de generación de CH_4 existentes, destacan el LandGEM de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA)[4], el modelo del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) [5], y el modelo mexicano de biogás v.2 [6]. Valores de k y L_0 existentes, se han estimado usando datos de generación y composición de RSU principalmente de países económicamente desarrollados; en los cuales las condiciones climáticas, los patrones de consumo y composición de RSU varían notablemente con países en desarrollo económico. Por lo anterior, la disminución de la incertidumbre de las emisiones de CH_4 del confinamiento de RSU, requiere de la determinación y uso de k y L_0 , representativos de las condiciones del sitio/región de estudio.

El modelo mexicano de biogás v.2 estima las emisiones de GEI considerando; la degradación de los RSU a través del tiempo y el contenido de carbono orgánico susceptible de ser convertido en CH_4 y CO_2 . La producción de CH_4 se estima usando datos de operación del sitio de disposición, cantidad de RSU confinados, localización, L_0 y k . L_0 representa la máxima generación posible de CH_4 de una cantidad de RSU, y depende directamente de la composición orgánica de los RSU y de su biodegradabilidad [6]. k describe la producción promedio de CH_4 y depende de las condiciones climáticas en el sitio de confinamiento, parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, contenido de humedad) y cantidad de RSU confinada.

La composición de RSU influye directamente en el índice de degradación, por ejemplo, los residuos alimenticios, lodos residuales y 20% del material de los pañales desechables se consideran de muy rápida degradación. En contraste, los residuos de madera, caucho, paja y cuero se consideran de degradación lenta. Valores de k teóricos y experimentales reportados para degradación lenta oscilan alrededor de 0.02 año^{-1} en condiciones secas y templadas, mientras que de degradación rápida oscilan alrededor de 0.4 año^{-1} para altos contenidos de humedad y temperaturas elevadas ($>30^\circ\text{C}$) [5].

En México, se han elaborado inventarios de emisión de GEI desde 1990 usando modelos teóricos. Sin embargo, la mitigación y control de emisiones de GEI requiere de datos más precisos. En particular, las estimaciones de emisiones de CH_4 en sitios de disposición de RSU requieren de valores de k y L_0 obtenidos mediante la caracterización fisicoquímica de los RSU generados en el sitio/región de estudio. Además, la factibilidad de instalar sistemas de recuperación y aprovechamiento de biogás en sitios de disposición de RSU, se puede evaluar directamente de las emisiones de CH_4 determinadas.

El presente estudio presenta los valores experimentales de k y L_0 para el sitio de disposición de RSU controlado clausurado de Morelia, Mich. k y L_0 se calcularon considerando las características fisicoquímicas de los RSU confinados y las labores de manejo del sitio de estudio. Se calcularon las emisiones totales de CH_4 en el sitio y se compararon con los valores de emisión obtenidos in-situ de CH_4 y CO_2 de los tubos de venteo y superficiales. Los resultados presentados aquí, se sitúan en el contexto de una disminución en la incertidumbre en los cálculos de emisiones de GEI en sitios de confinamiento, que permitan analizar la factibilidad de la implementación de sistemas de recuperación y aprovechamiento de biogás, y de políticas que conlleven a un menor impacto del manejo de RSU sobre el medio ambiente.

2. Metodología

2.1 Descripción del sitio de estudio

El sitio de confinamiento de RSU estudiado se localiza en la ciudad de Morelia, Michoacán, en el centro occidente de México (19.6936° N , 101.3483° O). El clima en la región es templado con una temperatura promedio anual de 18.7°C , y una precipitación anual promedio de 766 mm [7]. El sitio de estudio operó de 1986 a 2007 y contiene alrededor de 3.85 Mton de RSU confinados, generados en el área metropolitana de Morelia. El sitio tiene una topografía irregular y cubre alrededor de 17 ha. El sitio tiene 49 tubos de venteo

a una profundidad de 3 m para liberar el biogás producido en la matriz de RSU a la atmosfera, lo cuales se instalaron durante el proceso de clausura del mismo.

2.2 Caracterización fisicoquímica de los RSU confinados

La superficie del sitio de estudio se dividió en 4 cuadrantes (Q_{1-4}) acorde al tiempo de confinamiento de los RSU para la toma de muestras. Se tomaron muestras de 4 kg de RSU de 16 pozos a una profundidad de 3 m, y se colocaron inmediatamente en bolsas de plástico inerte siguiendo la metodología establecida en la NMX-AA-15-1985, las cuales se mantuvieron en refrigeración a 4 °C hasta su análisis. Los pesos volumétricos de las muestras de RSU se determinaron acorde a la norma NMX-AA-19-1985. Adicionalmente, para comparar los RSU confinados y los frescos, se recolectaron 50 kg de RSU de los camiones que operan el servicio de recolección en la ciudad, antes de la recuperación de componentes reciclables. Se separó 1 kg de cada muestra en los subproductos determinados en el estándar NTRS-5, siguiendo la NMX-AA-22-1985. Los subproductos identificados se pesaron en una báscula comercial de 30 kg de capacidad con una precisión menor a ± 2 g.

La fracción orgánica (FO) en cada muestra (en peso fresco), se determinó según el índice de biodegradación de [6] que incluye: residuos de comida y jardín, lodos residuales, cenizas, papel higiénico, papel y periódico, cartón, textiles, madera, goma, cuero, huesos, paja y 20% de la celulosa contenida en pañales desechables. Los subproductos restantes se clasificaron como el componente inorgánico. La biodegradación de los subproductos observados se asignó acorde a índices reportados [6],[8]. El pH, contenido de humedad, sólidos totales y volátiles fueron determinados en muestras de 1 kg de RSU siguiendo la NMX-AA-52-1985. Se midió la temperatura de los RSU confinados en cada pozo de muestreo previo a la recolección de las muestras usando un termómetro digital.

2.3. Medición de las emisiones de GEI

Las fracciones de CH_4 y CO_2 en el biogás emitido a través de los tubos de venteo, se determinaron usando un analizador de biogás GEM 2000 plus equipado con un detector de infrarrojo, acoplado a un cabezal ACCU-FLO para medición de flujos durante 1-año (2011). Los flujos emitidos de biogás ($F_{biogás}$) se calcularon de la diferencia en las lecturas de presión de impacto en el tubo inicial y final, ajustados a la temperatura del biogás. Los flujos de CH_4 y CO_2 se determinaron multiplicando la fracción de cada uno por el flujo total ($F_{biogás}$). La precisión del analizador para CH_4 y CO_2 es menor de $\pm 1\%$ v/v y se calibró antes de cada medición.

Las emisiones superficiales de CH_4 y CO_2 se determinaron dos veces por mes, en 3 puntos sobre cada cuadrante usando cámaras estáticas (CEs) de dimensiones reportadas (diámetro 0.26m, altura 0.34m) [9], durante 6-meses. Los puntos de muestreo se establecieron usando una distribución equidistante por cuadrante. Se realizaron determinaciones de CH_4 y CO_2 a 0, 10, 20 y 30 min, incluyendo la temperatura y la presión del biogás en el interior de las CEs. Los flujos de CH_4 y CO_2 se determinaron por triplicado, como la pendiente de la concentración de cada GEI contra el tiempo, considerando: i) que la concentración inicial debería ser similar la concentración de GEI en el ambiente y ii) coeficientes de correlación $r > 0.75$ ($p < 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron usando el software SPSS 19.0 para Windows.

3. Resultados

3.1. Contenido de la FO en los RSU confinados

Se identificaron 31 subproductos en las muestras de RSU confinados, los cuales son 4 más que los incluidos en la NMX-AA-22-1985 (Tabla 1). El material no identificable fue el subproducto de mayor porcentaje, 48.97%, en el cual se incluyen los RSU de rápida degradación. Los bajos porcentajes de materiales susceptibles de recuperación observados, se deben al reciclaje realizado previo al confinamiento. La

composición de los RSU confinados y los RSU tomados del servicio de recolección mostraron diferencias significativas ($p<0.05$), particularmente para residuos de rápida degradación.

Tabla 1. Porcentajes promedio de subproductos identificados por cuadrante en el sitio de estudio.

Subproducto	Cuadrante (Q)				Promedio (%)
	I	II	III	IV	
Cartón	6.31	9.94	4.38	2.6	5.35
Mat. No Identificable	31.23	35.75	66.38	59.82	48.97
Tetrapak	0	0.21	0	0.68	0.24
Papel encerado	0.38	0.12	0	0	0.13
Fibra vegetal	0.55	0.91	0	0.38	0.43
Fibra sintética	0.06	0.82	0	0.02	0.16
Hueso	0.02	0.86	0	0.02	0.15
Hule	0.03	0.06	0	0.21	0.08
Loza y cerámica	0.59	0.43	1.14	0.22	0.58
Madera	2.17	1.35	0	2.36	1.57
Aluminio	0.03	1.92	0.05	0.01	0.34
Hojalata	0.69	1.47	0.09	0.06	0.49
Material Ferroso	2.44	0.27	0	0.07	0.78
Papel	0.77	0.3	0	1.32	0.67
Pañal desechable	5.74	6.64	1.82	3.19	4.19
Bolsa de botana	0.73	1.29	0	0.11	0.46
Bolsa de película	10.82	10.05	5.42	5.73	7.87
Plástico rígido	4.19	8.78	3.88	2.2	4.29
PET	0	0	0	2.15	0.64
Hule espuma	0.29	0.03	0	0	0.09
Hielo seco	0.38	0.67	0.11	0.80	0.49
Polipropileno	0	0	0.1	0.23	0.09
R. alimenticios	0.34	0.52	0	0.45	0.32
R. jardinería	2.76	1.44	4.72	1.1	2.52
Textiles	1.18	0.59	4.08	2.7	2.23
Vidrio	4.31	2.06	1.05	3.4	2.88
Papel celofán	0.02	0	0	0.3	0.09
Piedras	19.7	13.2	6.77	8.03	12.03
R. peligrosos	0	0.01	0	0	0.002
Zapatos	4.25	0.19	0	1.86	1.84
Cabello	0.03	0.12	0	0	0.03

La FO de RSU en las muestras tomadas del servicio de recolección representó en promedio 77.6 %, el cual es similar al 77.0 % reportado en el año 2004 en Morelia [10]. Los porcentajes observados remarcan que la FO se ha mantenido como el componente mayoritario, a pesar del incremento en el volumen de RSU generados. En contraste, la FO en los RSU confinados varió entre 53.0 % en Q₁ y 73.7 % en Q₃, decreciendo de forma lineal ($r=0.78$), a una tasa de alrededor de 1.0 % año⁻¹. Sin embargo, el mayor porcentaje de FO no se observó en el cuadrante donde los RSU tienen el menor tiempo de confinamiento Q₄, sino en Q₃. Esto se debe probablemente a diferencias en las tasas de degradación de la FO, originadas por variaciones en el contenido de humedad y temperatura [11], aunado a cambios en la composición de los RSU confinados resultado de cambios en los patrones de consumo [12].

La Tabla 2 muestra los resultados de las mediciones in-situ y las pruebas fisicoquímicas a los RSU confinados. La temperatura en la mitad de los pozos realizados en el sitio de confinamiento estuvo debajo del rango mesofílico <30 °C [13]. El pH osciló entre 6.1 y 9.1, mientras que el contenido de humedad varió del 21.8 % a 48.0 %. Los valores de pH y contenido de humedad observados sugieren que las condiciones que prevalecen en el sitio de confinamiento no son las óptimas para mantener tasas de degradación constantes de los RSU, derivando en un mayor tiempo de estabilización [11].

Tabla 2. Resultados de las mediciones in-situ y pruebas fisicoquímicas a los RSU confinados.

Q	Pozo	Temp. (°C)	pH			Contenido de humedad (%)			Sólidos Totales (%)			Sólidos Volátiles (%)		
1	3	26.5	9.1	±	0.1	35.9	±	2.7	64.1	±	2.7	49.3	±	4.7
	8	41.8	8.7	±	0.1	27.0	±	6.3	73	±	6.3	28.4	±	25.2
	13	40.4	9.1	±	0.0	35.5	±	0.4	64.5	±	0.4	17.3	±	1.0
	14	35.5	8.8	±	0.2	41.5	±	3.9	58.5	±	3.9	35.9	±	8.8
	15	34.3	6.1	±	0.2	31.2	±	1.4	68.8	±	1.4	36.4	±	3.4
2	1	29.8	8.4	±	0.1	31.4	±	7.5	68.6	±	7.5	78.6	±	5.2
	2	28.1	9.1	±	0.1	38.7	±	1.7	61.3	±	1.7	34.3	±	1.9
	4	28.5	9.0	±	0.0	48.0	±	5.0	52.0	±	5.0	39.2	±	7.1
	16	27.5	7.1	±	0.1	21.8	±	1.7	78.2	±	1.7	37.2	±	5.3
3	5	27.2	8.3	±	0.1	42.1	±	7.9	57.9	±	7.9	69.9	±	8.7
	6	24.4	8.3	±	0.3	37.6	±	2.5	62.4	±	2.5	58.5	±	10.1
	7	33.4	8.2	±	0.2	31.7	±	6.9	68.3	±	6.9	32.2	±	5.1
4	9	41.9	8.5	±	0.2	32.3	±	4.5	67.7	±	4.5	79.8	±	5.6
	10	35.3	7.8	±	0.3	33.3	±	5.0	66.7	±	5.0	38.3	±	10.7
	11	26.2	8.7	±	0.0	30.1	±	5.5	69.9	±	5.5	77.7	±	7.5
	12	44.0	7.0	±	0.2	31.2	±	1.8	68.5	±	0.3	27.2	±	2.3
Prom.	N.A.	32.8 ± 6.4	8.3 ± 0.9			34.3 ± 6.3			65.7 ± 6.3			46.3 ± 20.2		

N.A.: No aplica.

3.2. Emisiones de GEI

La fracción de CH₄ en el biogás emitido a través de los tubos de venteo osciló entre 39.2 % y 51.1 % en abril y septiembre de 2011, respectivamente, con un promedio anual de 45.6 % ± 3.8. La fracción de CO₂ varió entre 28.6 % y 35.8 % en abril y julio de 2011, respectivamente, con promedio anual estimado de las mediciones existentes de 32.4 % ± 2.4. Las fracciones promedio por cuadrante de CH₄ variaron de 41.3 % en Q₁ a 49.4 % en Q₂, y de CO₂ de 27.7 % en Q₁ a 35.4 % en Q₃. Tales variaciones son el resultado de los diferentes estados de degradación de la FO, relacionados con el tiempo de confinamiento de los RSU, y con un mayor tiempo requerido para su estabilización, derivado de la prevalencia de temperaturas y contenidos de humedad no óptimos en la matriz de los RSU [11],[14].

Los flujos de CH₄ variaron de forma similar a las fracciones entre cuadrantes. El menor flujo de 1.6 × 10⁶ m³ año⁻¹ se midió en Q₁, mientras que el mayor de 2.7×10⁶ m³ año⁻¹ se observó en Q₄. El CO₂ presentó un patrón similar, con la menor emisión en Q₁ y la mayor en Q₄, 1.1×10⁶ y 2.0×10⁶ m³ año⁻¹, respectivamente. Los mayores flujos de CH₄ y CO₂ observados corresponden a RSU con el menor tiempo de confinamiento dentro del sitio, lo que puede relacionarse con un mayor contenido de FO y altas velocidades de degradación, que concuerda con los resultados de los análisis fisicoquímicos de los RSU [15]. La emisión total anual de CH₄ y CO₂ a través de los tubos de venteo en el año 2011 se calculó en 8.3×10⁶ m³ año⁻¹ y 5.93×10⁶ m³ año⁻¹, respectivamente, los cuales equivalen a una emisión de CH₄ y CO₂ de 6.3×10³ Ton año⁻¹ y 10.7×10³ Ton año⁻¹, respectivamente.

La emisión superficial de CH₄ en el sitio de disposición presentó un patrón similar a las emisiones de los tubos de venteo, con el mayor flujo en Q₄ y el menor en Q₁, 10.1 y 0.03 g CH₄ m² d⁻¹, los que equivalen a una emisión promedio anual en Q₁ y Q₄ de 4.7 × 10³ y 1.8×10³ Ton CH₄. Se calculó una emisión superficial anual en el sitio de estudio de 1.9×10³ Ton CH₄. En conjunto las emisiones de los tubos de venteo y

superficiales del sitio para el año mediciones fueron de 8.2×10^3 Ton CH_4 y 11.6×10^3 Ton CO_2 , que equivalen a 216.6×10^3 Ton CO_2 equivalentes.

3.3. Determinación de L_0 y k , y emisión teórica de CH_4

La Tabla 3 muestra los valores de L_0 calculados por cuadrante para el sitio de estudio usando la ec. 1. El mayor potencial de generación de CH_4 se observó en Q_3 y el menor en Q_1 . Los datos de carbón orgánico degradable depositado (COD_i) se obtuvieron de la caracterización de la FO en peso húmedo de RSU confinados, que se calcularon a su vez, de las ecuaciones 2 y 3 que consideran el carbono orgánico degradado (COD_d), carbono orgánico degradable asimilado (COD_a), y contenido de sólidos volátiles inicial (SV_i) y final (SV_f). Se calcularon COD_d y COD_a promedios de 0.71 y 0.69, respectivamente. El Factor de corrección de CH_4 (FC_{CH_4}) se estimó considerando los tipos de manejo en el sitio de confinamiento por cuadrante como reporta [6]. FC_{CH_4} varió de 0.14 a 0.45 en Q_1 y Q_4 , respectivamente, con un promedio de 0.46 para todo el sitio. Se consideraron las fracciones de CH_4 emitido (X_{CH_4}) reportadas en la sección 3.2. El contenido de COD_i presento variaciones espaciales, con el mayor contenido en Q_4 de 76.0 Mton y el menor en Q_1 de 50.3 Mton. Tales contenidos de COD_i son consistentes con el tiempo de confinamiento de los RSU en el sitio.

$$L_0 = \frac{4}{3} \text{COD}_i \times X_{\text{CH}_4} \quad (1)$$

$$\text{COD}_i = \text{COD}_d \times \text{COD}_a \times \text{FC}_{\text{CH}_4} \quad (2)$$

$$\text{COD}_a = \text{SV}_i - \text{SV}_f \quad (3)$$

Los valores calculados para la constante k utilizando las ecs. 4 y 5 se muestran en la Tabla 3. Se determinaron valores de $q=13.62 \text{ m}^3 \text{ Mg año}^{-1}$ base húmeda, considerando las emisiones de CH_4 en el sitio y la cantidad de RSU confinados, una L_0 en 2011 de 36.6 y 69.0 $\text{m}^3 \text{ Mg año}^{-1}$ y $c=1.05$ años.

Tabla 3. Valores de las constantes L_0 y k calculados para el sitio de confinamiento de RSU controlado de la ciudad de Morelia.

Cuadrante	L_0 ($\text{m}^3 \text{ Mg RSU}^{-1}$ preso húmedo)	k (año^{-1})
Q_1	44.0	0.22
Q_2	72.9	0.20
Q_3	101.9	0.17
Q_4	77.6	0.18
Promedio	74.1	0.19

$$F_{\text{biogás}} = 2L_0R(e^{kc} - e^{-kt}) \quad (4)$$

Donde :

$F_{\text{biogás}}$: Flujo de CH_4 emitido en $\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$,

L_0 : Potencial de generación de CH_4 ($\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$),

R : Promedio anual de RSI confinados durante el periodo de operación (kg),

k : Constante de decaimiento de la generación de CH_4 (año^{-1}),

t : Años desde el inicio de operación del sitio (año),

c : Años desde la clausura del sitio (año).

$$q = L_0ke^{-kt} \quad (5)$$

Donde:

q: Índice de generación de CH₄ (m³ kg año⁻¹),

L₀: Potencial de generación de CH₄ (m³ kg⁻¹),

k: Constante de decaimiento de la generación de CH₄ (año⁻¹).

Los valores de k de datos experimentales, son ente 4.9 y 6.3 veces mayores al calculado usando la ec. 6 de la USEPA de 0.035 año⁻¹ [16]. Las diferencias observadas pueden ser originadas por una mayor incertidumbre en el cálculo con la ec. 6, ya que sólo se considera la precipitación promedio anual de 773 mm y la composición de los RSU generados en la ciudad de Morelia. Lo cual contrasta con la información requerida en la ecs. 1, 4 y 5, que incluyen datos directos sobre variaciones de la composición fisicoquímica de RSU y las condiciones en la matriz de confinamiento. Las k observadas son similares al valor reportado por [8] de 0.21 año⁻¹ para un clima tropical, pero es alrededor de 4 veces mayor al reportado por [17] de 0.04 año⁻¹ en una región seca. Tales diferencias se atribuyen a diferentes composiciones de RSU, a las condiciones climáticas que prevalecen en la región de cada sitio y a las metodologías usadas para su cálculo.

$$k = 3.2 \times 10^{-5}X + 0.01 \quad (6)$$

Donde X: Precipitación media anual durante el periodo de operación del sitio.

Los valores experimentales de L₀ y k se usaron para simular las emisiones de CH₄ en el sitio de estudio con el modelo mexicano de biogás v.2. Se estimó una emisión máxima durante el periodo 1986-2036 (2 veces el tiempo de operación) de 418 m³ hr⁻¹ (3.7×10³ m³ año⁻¹), que corresponde a 2.3×10³ Ton CH₄ año⁻¹. Tal estimación representa alrededor de 30 % de la emisión anual de CH₄ determinada de forma experimental. Esto denota que los resultados de los modelos teóricos difieren significativamente con los datos experimentales, lo cual remarca la necesidad de contar con una metodología alterna que permita corroborar las estimaciones teóricas.

4. Conclusiones

Se caracterizaron los RSU confinados y, las emisiones de biogás superficiales y de los tubos de venteo en el sitio de disposición controlado clausurado de Morelia, Mich. La FO en los RSU confinados mostró diferencias significativas entre cuadrantes, con una disminución lineal en función del tiempo de confinamiento. Los contenidos de SV mostraron que los RSU confinados tienen diferentes tasas de degradación. Se observaron variaciones espaciales de temperatura, pH y humedad, las cuales son originadas por la falta una cobertura apropiada, que evite cambios bruscos, particularmente durante la temporada de lluvias, los cuales conllevan a un mayor tiempo de estabilización de los RSU confinados.

Las emisiones de CH₄ y CO₂ de los tubos de venteo y las superficiales, mostraron diferencias espaciales y temporales en cada cuadrante. Se determinó una composición promedio anual del biogás emitido en el sitio de estudio de 45.6 % CH₄ y 32.4 % CO₂. El mayor flujo de CH₄ a través de los tubos de venteo fue de 2.7×10⁶ m³ año⁻¹ y se observó en Q₄, mientras que el menor flujo fue de 1.6×10⁶ m³ año⁻¹ en Q₁. Los flujos superficiales de CH₄ coincidieron con los observados de los tubos de venteo, el mayor en Q₄ de 2.0×10⁶ m³ año⁻¹ y el menor en Q₁ de 1.1×10⁶ m³ año⁻¹. La emisión promedio anual total de CH₄ en el sitio de confinamiento fue de 8.2×10³ Ton año⁻¹. Las emisiones promedio de CO₂ fueron consistentes con las variaciones de CH₄, y correspondieron a 11.6×10³ Ton año⁻¹. En conjunto, la emisión de GEI en el sitio de estudio fue de 216.6×10³ Ton CO₂ equivalente.

Se calcularon las constantes k y L₀ usando datos experimentales de la caracterización fisicoquímica de los RSU confinados, y se emplearon para realizar proyecciones de producción de CH₄ empleando el modelo mexicano de biogás v.2. El modelo calculó una emisión diaria de CH₄ de 26.4 Ton, que representan anualmente 2.3×10³ Ton CH₄ año⁻¹, la cual corresponde a una subestimación de 70% comparada con las emisiones medidas en el sitio. Tal diferencia se debe a la variación de L₀ y k a lo largo del tiempo, así como

a la incertidumbre de los valores calculados por el modelo. Las diferencias observadas entre las emisiones medidas y las estimadas, remarcan la posibilidad de subestimar o sobre estimar los resultados usando únicamente modelos teóricos. Por lo cual se requiere contar con modelos más precisos y una metodología alterna para verificar las emisiones estimadas, que a su vez ayuden a disminuir la incertidumbre datos en los inventarios de emisiones. Ello podrá permitir a las autoridades el desarrollo de políticas más efectivas de mitigación.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (proyecto No. 62100) y de la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (Convocatoria 2014, proyecto 5.9).

Referencias

- [1] IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2013. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1535.
- [2] Dlugokencky, E.J., Nisbet, E.G., Fisher, R., Lowry, D. (2011) Global atmospheric methane: budget, changes and dangers. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1943), 2058-2072. doi: 10.1098/rsta.2010.0341.
- [3] Bousquet, Ciais, P., Miller, J. B., Dlugokencky, E. J., Hauglustaine, D. A., Prigent, C., et al. (2006) Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability. *Nature*, 443, 439-443. doi:10.1038/nature05132.
- [4] U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). (2005) Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. En línea <<https://www3.epa.gov/ttnca1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>> Recuperado el 13/05/2016.
- [5] IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Intergovernmental Panel of Climate Change. (2006) Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H; Buendia L; Miwa, K; Ngara T. and Tanabe K (Eds). Vol. 5, Japón.
- [6] SCS Engineers. (2009) Manual de Usuario Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0.
- [7] Israde, I., Buenrostro, O., Carrillo, A. (2005) Geological Characterization and Environmental Implications of the Placement of the Morelia Landfill, Michoacán, Central Mexico. *Journal of the Air Waste Management Association*, 55,755-764. doi:10.1080/10473289.2005.10464665
- [8] Machado, S., Carvalho, M., Gourc, J.P., Vilar, O., Nascimento J.C.F. (2008) Methane Generation in Tropical Landfills Simplified Methods and Field Results. *Waste Management*, 29(1), 153-161. doi:10.1016/j.wasman.2008.02.017.
- [9] Park, J.W., Shin, H.C. (2001) Surface emission of landfill gas from solid waste landfill. *Atmospheric Environment*, 35(20), 3445-3451. doi: 10.1016/S1352-2310(01)00118-2.
- [10] Claudio, G.Y. (2006) Análisis de Generación de los Residuos Sólidos Residenciales en Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Facultad de biología. UMSNH. Morelia, Michoacán, México.
- [11] Wall, D.K., Zeiss, C. (1995) Municipal landfill biodegradation and settlement. *Journal of Environmental Engineering*, 121(3): 214-224. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9372.
- [12] Buenrostro, O., Bocco, G. (2003) Solid Waste Management in Municipalities in México: Goals and Perspectives. *Resources Conservation and Recycling*, 39,251-263. doi:10.1016/S0921-3449(03)00031-4.
- [13] Barlaz, M.A., Schaefer, D.M., Ham, R.K. (1989) Bacterial Population Development and Chemical Characteristics of Refuse Decomposition in a Simulated Sanitary Landfill. *Applied and Environmental Microbiology*, 55, 55-65.

- [14] Zhang, H., Yan, X., Cai, Z., Zhang, Y. (2013) Effect of rainfall on the diurnal variations of CH₄, CO₂, and N₂O fluxes from a municipal solid waste landfill. *Science of the Total Environment*, 442, 73-76. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.10.041.
- [15] Ishii, K., Furuichi, T. (2013) Estimation of methane emission rate changes using age-defined waste in a landfill site. *Waste Management*, 33(9), 1861-1869. doi: 10.1016/j.wasman.2013.05.011.
- [16] U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). (2005) EPA-600/R-05/072. First-Order Kinetic Gas Generation Model Parameters for Wet Landfills. En línea < *First-Order Kinetic Gas Generation Model Parameters for Wet Landfills* > Recuperado el 13/05/2016.
- [17] Aguilar, Q., Taboada, P., Ojeda, S. (2011) Potencial de Producción Eléctrica del Biogás Generado en un Relleno Sanitario. *Ingeniería e Investigación*, 31,56-65.

Emisiones de dióxido de Carbono de la disposición final de medicamentos caducados

¹Marco Tulio Hernández-de-Anda ²Marina Velarde-Sánchez, ^{3*}Liliana Márquez-Benavidez

^{1,2} Laboratorio de Residuos Sólidos y Uso Eficiente de Energía. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

^{3*} Autor de correspondencia: Laboratorio de Residuos Sólidos y Uso Eficiente de Energía. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida San Juanito Itzicuaró S/N, Colonia San Juanito Itzicuaró, Morelia, Michoacán. Código Postal 58240. México. Email: lmarquez@umich.mx

Resumen

La huella de carbono de la atención sanitaria representa entre el 3 y el 8% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en países desarrollados, gran parte de estas emisiones (aproximadamente el 60%), provienen de las actividades relacionadas con los productos farmacéuticos, de los que aún es desconocida la parte correspondiente a la generación y disposición de medicamentos caducados (MC). El objetivo de este estudio es calcular las emisiones de CO₂eq, asociadas al tratamiento y disposición final de MC generados en clínicas de Atención Primaria a la Salud (APS), de la ciudad de Morelia, Mich., donde se investigó la generación de MC y se calcularon las emisiones de CO₂eq derivadas de su tratamiento y disposición final, obteniéndose como resultados una generación total de 231.2 kg de MC, de los cuales 130.7 son MC-Sólidos y 100.5 son MC-Líquidos, y representan entre 400 kg de CO₂eq/año si son encapsulados en un relleno sanitario y hasta 1400 kg de CO₂eq/año si son incinerados. La mejor estrategia de eliminación de estos residuos es la combinación entre el reciclaje de residuos no-biodegradables, y la digestión anaerobia para los residuos biodegradables. La generación de MC en el sector salud, representa una huella de carbono agregada para las actividades de atención sanitaria, que puede ser reducida con la operación de estrategias más eficientes sobre la gestión integral de productos farmacéuticos.

Palabras Clave: emisiones de CO₂eq, medicamentos caducados, tratamiento y disposición final.

1. Introducción

La huella de carbono de la atención sanitaria representa entre el 3 y el 8% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en países desarrollados [1]. De estas emisiones, la segunda fuente más importante (aproximadamente el 60% de la huella de carbono), proviene de las actividades relacionadas con los productos farmacéuticos [1], [2], de los cuales aún es desconocida la parte correspondiente a la generación y disposición de medicamentos caducados (MC).

Se calcula que alrededor del 3% de los residuos de la atención a la salud son residuos químico-farmacéuticos [3] los cuales requieren un tratamiento y disposición especiales [4], que en el caso de los medicamentos caducados representan una huella de carbono agregada a las emisiones provenientes de la atención a la salud.

Entre las actividades empleadas para la eliminación de medicamentos caducados por el sector salud se incluyen; la disposición directa o en celdas especiales en un relleno sanitario [5], [6], o posterior a un proceso térmico de tratamiento como la incineración, el cual es un método frecuentemente utilizado en la destrucción de residuos peligrosos hospitalarios [6], [7].

El objetivo de este trabajo es calcular las emisiones de CO₂eq relacionadas con el tratamiento y disposición final de los residuos de MC generados en clínicas de atención primaria a la salud de la ciudad de Morelia, Mich., y así mismo, determinar cuál sería la mejor alternativa de eliminación de estos residuos.

2. Metodología

2.1. Selección del área de estudio

El presente estudio se desarrolló en la ciudad de Morelia Michoacán, México, entre los meses de septiembre-diciembre de 2015. Se estudió la generación de MC en clínicas del sector salud, para lo cual se eligieron aleatoriamente 16 unidades de Atención Primaria a la Salud (APS) provenientes de dos dependencias diferentes (Tabla 1).

Tabla 1. Unidades de Atención Primaria a la Salud

Características	Unidades Comunitarias de Salud	Módulos de Salud Periféricos
Dependencia	Dirección de Servicios de salud del H. Ayuntamiento de Morelia, Michoacán.	Centro de Salud “Dr. Juan Manuel Gonzáles Ureña” de la Secretaría de Salud Michoacán (SSA).
Clínicas	Unidad APS	Unidad APS
	UCS-1	MSP-1
	UCS-2	MSP-2
	UCS-3	MSP-3
	UCS-4	MSP-4
	UCS-5	MSP-5
	UCS-6	MSP-6
	UCS-7	MSP-7
	UCS-8	MSP-8

APS. Atención Primaria a la Salud
UCS. Unidades Comunitarias de Salud
MSP. Módulos de Salud Periféricos

2.2. Estudio de generación y caracterización de Medicamentos Caducados

2.2.1. Unidades Comunitarias de Salud (UCS)

Los MC encontrados se caracterizaron de acuerdo a su forma farmacéutica [8]. Posteriormente, fueron pesados con una báscula OHAUS FD de 1200 g para cantidades menores a 1 kg, y la báscula clínica para las cantidades mayores. La información se capturó en un formulario de clasificación diseñado para este estudio.

2.2.2. Módulos de Salud Periféricos (MSP)

La información se extrajo del archivo de insumos clínicos para el periodo 2014-2015, obteniéndose solo los datos de cantidad, tipo y forma farmacéutica de los medicamentos vigentes y caducados. Esta información fue utilizada para calcular el peso (kg) de los MC generados.

2.2.2.1. Cálculo del peso de Medicamentos Caducados y material reciclable

Se caracterizaron los MC de acuerdo a la forma farmacéutica antes citada. Se pesaron 10 unidades de distinto tamaño y contenido entre el excipiente (E) y el ingrediente activo farmacéutico (IAF) de cada MC encontrado, excluyendo el material de empaque que se caracterizó por separado.

El peso obtenido fue promediado para establecer el peso estándar de cada clase de medicamento. El peso entre el E y el IAF fue determinado dependiendo del contenido en cada unidad de medicamento pesado y de igual manera se estableció un estándar para cada uno. Se consideró la presencia de celulosa como

compuesto para los cálculos de la investigación en relación al E, de acuerdo a Villafuerte R., (2011) (ver Tabla 2).

Por otra parte, el material reciclable de los MC es conformado por aquellos residuos que integran los tres tipos de empaque entre ellos; cartón, papel, plástico, aluminio y vidrio. El peso de estos materiales se obtuvo estableciendo un peso estándar para cada clase de empaque (ver Tabla 2).

Tabla 2. Estándares de peso del Fármaco, IAF, Excipiente y material reciclable

Estándares para MC				Estándares para Empaque de MC	
Forma farmacéutica*	Peso	IAF	E	Empaque de los MC	Peso Estándar
MC-Sólidos	(g)	(g)	(g)	Envase de Agrupación	(g)
Tabletas/pastillas	0.7	0.2	0.5	Caja grande de cartón	314.4
Comprimidos/píldoras	1.8	0.45	1.4	Bolsa grande de plástico	8
Cápsulas	0.6	0.1	0.5	Envase Externo	
Grageas	0.4	0.1	0.3	Caja individual de cartón	5.4
Polvos	174.3	113.7	60.6	Instructivo de papel	3.6
Pastas/cremas/geles/ungüentos	4.7	1.8	2.9	Envase Inmediato	
Supositorios/óvulos	0.6	0.3	0.3	Blíster (aluminio-plástico)	2.9
Polvo para suspensión oral	6.6	4.6	2.1	Bote de plástico	12.2
Forma farmacéutica*	Contenido	IAF	E	Frasco de vidrio	20.5
MC-Líquidos	(g)	(g)	(g)	Tubo de aluminio	2.2
Solución oral	28.2	0.008	28.2	Sobre/bolsa de plástico	0.4
Suspensión oral	217.9	0.300	217.6	Materiales Extras	
Jarabes	90.9	0.004	90.9	Aplicador	16
Solución frasco gotero	14.1	0.010	14.1	Algodón	nd
Solución inyectable ampollita	7.8	0.005	7.8	Recipiente dosificador	nd
Solución inyectable frasco	100.0	0.918	99.1	Sobre de conservador	nd
Solución inyectable suero	474.2	1.379	472.9	Envase de aerosol	nd

*Referencia: [8].

IAF: Ingrediente Activo Farmacéutico.

E: Excipiente.

nd: no disponible, no fue incluido.

2.3. Análisis de datos y cálculo de emisiones de CO₂eq relacionadas al tratamiento y disposición final de MC

Se realizaron análisis descriptivos para la generación y caracterización de MC, además del cálculo de las tasas de generación de MC/paciente/año (tasas por cada 1000).

Para el cálculo de las emisiones de CO₂eq asociadas a la disposición final de MC, se utilizaron los factores de emisión para: papel, cartón, plástico, material no ferroso (aluminio) y vidrio de los procesos de tratamiento; incineración, digestión anaerobia, composteo y disposición en vertedero, considerados en la metodología para calcular los GEI por tratamiento de residuos de Vaccari y Vitali, (2011). También se

utilizó la reducción de emisiones de CO₂eq por el reciclaje de residuos, tomado de Masters y Ela, (2008). El cálculo fue realizado cada 1000 kg de MC generados.

3. Resultados y Discusión

3.1. Generación de MC en unidades de APS

La generación total de MC en las 16 clínicas consideradas para el periodo 2014-2015 fue de 231.2 kg de MC, de los cuales la mayor parte la aportaron las UCS, con 130.7 kg y 100.5 kg de las MSP. En la Tabla 3, se presenta la distribución de la generación de MC de acuerdo a la forma farmacéutica, se aprecia una mayor generación de MC-Sólidos (MCS) ocupando más de dos terceras partes de la generación total (147.3 kg no considerando el empaque de agrupación), de los cuales el 34% corresponde a MC contenidos en caja de cartón. Por otro lado, los MC-Líquidos (MCL) ocupan el 33% del total (76.9 kg no considerando el empaque de agrupación), y la mayor parte de estos corresponde a los MCL contenidos en bolsas o envases de plástico.

Tabla 3. Generación de Medicamentos Caducados en unidades de Atención Primaria a la Salud

	UCS	MSP	Total	Porcentaje
MC-Sólidos (MCS)	kg	kg	kg	%
MCS-caja individual de cartón	49.1	28.6	77.7	33.6
MCS-blíster sin caja	3.4	0	3.4	1.5
MCS-bote de plástico	21.4	12.3	33.7	14.6
MCS-frasco de vidrio	14	9.4	23.4	10.1
MCS-sin empaque	10.9	5.2	16.1	7.0
<i>Total MCS</i>	<i>98.8</i>	<i>55.5</i>	<i>154.3</i>	<i>66.7</i>
MC-Líquidos (MCL)	kg	kg	kg	Porcentaje
MCL-envase de plástico	15.8	30.5	46.3	20.0
MCL-frasco de vidrio	16.1	14.6	30.7	13.3
<i>Total MCL</i>	<i>31.9</i>	<i>45.1</i>	<i>76.9</i>	<i>33.3</i>
<i>Total MCS-MCL</i>	<i>130.7</i>	<i>100.5</i>	<i>231.2</i>	<i>100.0</i>
Total MCS-MCL-envase de agrupación	147.3	112.5	259.5	113.4

UCS. Unidades Comunitarias de Salud

MSP. Módulos de Salud Periféricos

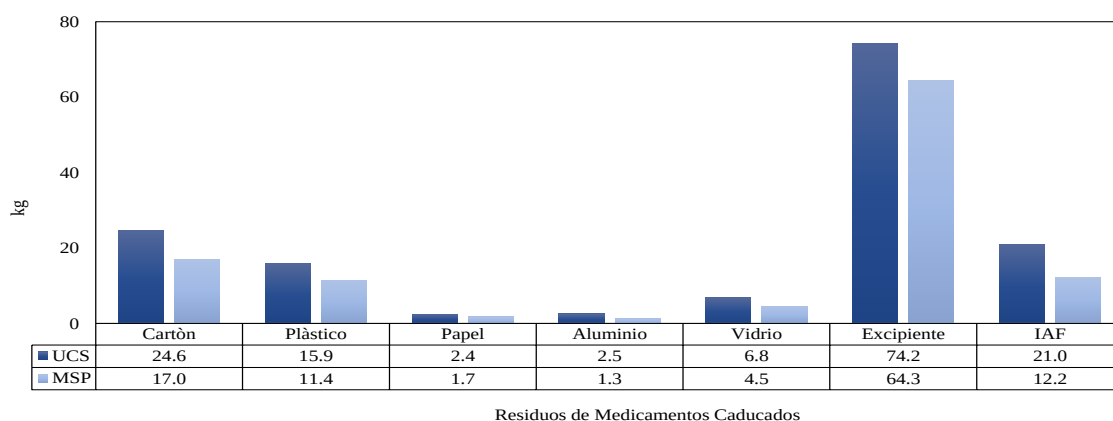


Figura 1. Distribución de la Generación de Medicamentos Caducados en Unidades de Atención Primaria a la Salud

A estos resultados, puede agregarse un 13% extra del total que corresponde al porcentaje ocupado por el empaque de agrupación en ambos tipos de MC (sólidos y líquidos), lo que incrementa el volumen de generación a 259.5 kg. La Figura 1 ilustra la distribución de la generación de acuerdo a los residuos generados por la caducidad de los medicamentos. La mayor cantidad de estos residuos provienen del producto farmacéutico (excipiente e ingrediente activo farmacéutico), sumando un total de 171.6 kg entre las UCS y los MSP. El resto de los materiales de desecho (cartón, plástico, papel, aluminio y vidrio), representan el 33% del total del cual, el 16% corresponde al cartón.

3.2. Tasas de Generación de Medicamentos Caducados

La tasa de generación de MC/paciente/año en las UCS es de 9.6 kg de MC por cada mil pacientes, tasa superior a la registrada en los MSP que es de 0.8 kg por cada mil pacientes. Estas diferencias tan amplias, pueden estar relacionadas a la mayor demanda de pacientes en los MSP, cuya atención anual estimada es de 125,124 pacientes al año, casi diez veces mayor a la calculada para las UCS que es de 13,608 pacientes (Tabla 4).

Tabla 4. Tasas de Generación de MC/paciente/año

Unidad APS	Pacientes/año	MC (kg)	Tasa*	Unidad APS	Pacientes/año	MC (kg)	Tasa
UCS 1	1,164	17.7	15.2	MSP 1	15,060	15.6	1.0
UCS 2	1,500	23.9	15.9	MSP 2	19,572	13.4	0.7
UCS 3	2,508	11.8	4.7	MSP 3	13,452	0.0	0.0
UCS 4	1,740	18.9	10.9	MSP 4	15,648	17.8	1.1
UCS 5	2,268	12.8	5.6	MSP 5	14,280	11.4	0.8
UCS 6	1,464	12.2	8.3	MSP 6	20,580	16.4	0.8
UCS 7	1,992	13.0	6.5	MSP 7	12,132	13.0	1.1
UCS 8	972	20.5	21.1	MSP 8	14,400	12.9	0.9
TOTAL	13,608	130.8	9.6	TOTAL	125,124	100.5	0.8
TOTAL*	13,608	147.3	10.8	TOTAL*	125,124	112.5	0.9

Tasa*: Tasa por cada 1000 pacientes atendidos al año

TOTAL*: Tasa total de MC/paciente/año, incluye el peso del empaque de los residuos de MC.

3.3. Emisiones de CO₂eq relacionadas a la disposición final de MC

Por cada 1000 kg de MC generados, 340 corresponden al empaque (160 de cartón, 105 de plástico, 16 de papel, 15 de aluminio y 44 de vidrio), y 660 corresponde al producto farmacéutico (532 del excipiente y 128 del ingrediente activo). Considerando los diferentes escenarios de tratamiento y disposición final, la generación de MC representaría:

1. Entre 89.6 a 1400.4 kg de CO₂eq si son incinerados (1, 2, 3), principalmente por la destrucción del producto farmacéutico con el cual se emiten entre 528.8 a 925 kg de CO₂eq, dependiendo de la tecnología de incineración (Tabla 5).
2. Entre de 97.5 kg de CO₂eq por la disposición directa en un relleno sanitario (6), y 400.1 kg de CO₂eq, encapsulando los residuos en un contenedor en el vertedero (7) (Tabla 5).
3. Se emitirían aproximadamente 10 kg de CO₂eq si se someten a compostaje (5), emisiones provenientes particularmente de los residuos de papel y cartón (biodegradables), para el resto de residuos de MC es una opción no viable (Tabla 5).
4. Por otra parte, se dejarían de emitir entre 677.2 (8) y 996.6 (9) kg de CO₂eq, si los residuos de MC son reciclados. Esta opción es la más recomendada para la eliminación de residuos como cartón, papel, plástico, aluminio y vidrio (Tabla 5).
5. Por último, se dejarían de emitir aproximadamente 2985.6 kg de CO₂eq (4), si los residuos de papel, cartón y el excipiente farmacéutico son dispuestos en un biodigestor. Este tratamiento representa una alternativa eficiente de aprovechamiento de los residuos de MC (Tabla 5).

Tabla 4. Emisiones de CO₂eq por disposición de MC de clínicas APS

		Emisiones de CO ₂ eq por proceso de tratamiento de residuos							Reducción de emisiones	
		(kg de CO ₂ eq/ton de material)								
	Material	Incineración			DA	Compostaje	Vertedero		Reciclaje	
	Ton	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cartón	0.160	-80.1	224.2	128.1	-19.4	9.1	88.1	64.1	-114.2	-720.6
Plástico	0.105	188.9	147.0	84.0				42.0	-105.0	
Papel	0.016	-8.0	22.4	12.8	-1.9	0.9	8.8	6.4	-11.4	-76.9
Aluminio	0.015	-11.5	20.5	11.7			0.1	5.9	-131.7	-199.1
Vidrio	0.044	0.2	60.9	34.8			0.4	17.4	-315.0	nd
Excipiente (celulosa)	0.532		746.4	426.5	-2964.2			213.3		
IAF	0.128		179.0	102.3				51.1		
TOTAL	1.0	89.6	1400.4	800.2	-2985.6	10.0	97.5	400.1	-677.2	-996.6
Ton de CO₂eq		0.1	1.4	0.8	-3.0	0.0	0.1	0.4	-0.7	-1.0

1. Incineración en horno de parrilla giratoria. Referencia [9].
2. Incineración in-situ. Referencia [10].
3. Incineración con tecnología avanzada. Ver referencia [10].
4. DA: Digestión Anaerobia. 3. Ver referencia [11]-[12]
5. Compostaje. Ver referencia [9].
6. Disposición en un Relleno Sanitario/vertedero. Ver referencia [9].
7. Encapsulación en Relleno Sanitario/vertedero. Ver referencia [10].
8. Reciclaje. Ver referencia [9].
9. Reciclaje. Ver referencia [13]

4. Conclusión

De acuerdo con los resultados encontrados, la estrategia empleada para la eliminación de MC por las unidades de atención a la salud estudiadas (la incineración), es menos eficiente en relación a otras alternativas como el reciclaje de residuos y la operación de la digestión anaerobia, por lo que la generación de MC representa una huella de carbono agregada a las actividades de atención a la salud. Además, es indispensable redirigir las prácticas de manejo de medicamentos hacia alternativas eficientes y responsables de modo que se reduzca su impacto ambiental y se proteja la salud pública.

5. Referencias

- [1] WHO. (2011). *La Salud en la economía verde*. WHO (Vol. 3). Ginebra, Suiza. Retrieved from <http://www.who.int/phe/es/index.html>
- [2] Chung, J. W. & Meltzel, D. O., 2009. Estimate of the Carbon Footprint of the US Health Care Sector. *The Journal of American Medical Association*, Volumen 18, p. 302.
- [3] SSD. (2011). *La Agenda Global para Hospitales Verdes y Saludables*. Agenda Global para Hospitales Verdes y Saludables. Buenos Aires, Argentina.
- [4] Marmolejo R., L. F., Madera P., C. A., & Torres L., P. (2010). Gestión de los residuos sólidos en hospitales locales del norte del Valle del Cauca, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 28(1), 56–63. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/120/12016345008.pdf>
- [5] Udupa, N., Muragundi, P. M., Naik, a. N., & Janodia, M. (2013). Disposal Of Date Expired And Unused Medicines In India– A Conceptual Framework. *Value in Health*, 16(3), A269. <http://doi.org/10.1016/j.jval.2013.03.1387>
- [6] Vaszilcsin, N., Ordodi, V., & Borza, A. (2012). Corrosion inhibitors from expired drugs. *International Journal of Pharmaceutics*, 431(1-2), 241–244. <http://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.04.015>
- [7] Zubkova, V., Strojwas, A., & Jarzab, M. (2013). The influence of the addition of expired pharmaceuticals on the coal plasticization and changes in volume of the heated charge. *Fuel*, 117(2014), 776–782.

<http://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.09.081>

- [8] Olaya, E., García, R., Torres, N., Ferro, D., & Torres, S. (2006). Caracterización del proceso productivo, logístico y regulatorio de los medicamentos. *Vitae, Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*, 13(2), 69–82.
- [9] Vaccari, M., & Vitali, F. (2011). *A methodology for the calculation of Greenhouse Gases emissions from office-based projects*. Brescia, Italia: CeTAMB. Retrieved from http://dicata.ing.unibs.it/~cetamb/images/stories/Sito_CeTAMB/Pubblicazioni_online/Vaccari_Vitali_-_A_methodology_for_the_calculation_of_GHG_emissions_from_office-based_proj.pdf
- [10] Acharya, D., Steele, K., Hamelmann, C., & Dante, T. M. (2014). *Climate change impact of waste management - A study based on Tajikistan ' s pharmaceutical waste management*. Tajikistan. Retrieved from http://www.undp.org/content/dam/undp/library/HIV-AIDS/Regional_practices/UNDP_Briefing_WasteMngmt96.pdf
- [11] Chynoweth, D. P., Turick, C. E., Owens, C. E., Jerger, D. E., & Peck, M. W. (1993). BIOCHEMICAL METHANE POTENTIAL OF BIOMASS AND WASTE FEEDSTOCKS. *Biomass and Bioenergy*, 5(1), 95–111. Retrieved from http://abe.ufl.edu/chyn/download/Publications_DC/Refereed/1993_-4- BMP_ofBiomass.pdf
- [12] EPA, 2014. *Coalbed Methane Outreach Program (CMOP)*. [En línea] Available at: <http://www.epa.gov/cmop/resources/converter.html> [Último acceso: 03 Junio 2015].
- [13] Azuela, J. A. & Preciado, S., 2011. *Diagnóstico de generación de residuos sólidos urbanos y estimación de los beneficios económicos y ambientales de la implementación de un sistema de reciclaje en la Universidad de Monterrey (UEM)*, Monterrey, Nuevo León: s.n.

Distribución espacial de la contaminación por metales pesados en vialidades de Toluca, Edo de México

¹Jose L. Cortés Esquivel, ²Otoniel Buenrostro Delgado, ³Patricia Quintana Owen.

¹Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta, C.P. 58190, Morelia, Michoacán, México.

²Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

³ Departamento de Física Aplicada, Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida, Antigua carretera a Progreso Km 6, Cordemex, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Resumen

La emisión de contaminantes que contienen metales pesados (MP) se han convertido en la actualidad en uno de los principales problemas para las ciudades, los MP son dañinos tanto para el medio ambiente como para la salud de la población, las fuentes antrópicas son la principal causa de contaminación por MP. En las ciudades existen vialidades que por su afluencia vehicular se convierten en un riesgo en la emisión y expansión de estos MP, el problema es que las ciudades no cuenta con una regularización adecuada para el manejo pertinente de estos contaminantes. Por lo que el objetivo de este trabajo es evaluar las concentraciones y la distribución de los MP para determinar los puntos rojos con mayores concentraciones de MP en vialidades primarias de Toluca, Edo. De México. Se muestrearon un total de 17 puntos en dos vialidades primarias de Toluca, Edo de México. Se identificaron partículas metálicas provenientes en los polvos con un microscopio electrónico de barrido (MEB) y se determinaron los elementos que contenían con un espectrómetro de dispersión de rayos X (EDAX-MEB). Con MEB se encontraron partículas metálicas esféricas que por sus características se comprueba que provienen de combustión en los automotores, con EDAX-MEB se encontraron partículas con elementos como el hierro (Fe), níquel (Ni), Cromo (Cr), vanadio (V), titanio (Ti) y manganeso (Mn) siendo el Fe el elemento con mayor abundancia. Se concluye que la vialidad de Paseo Tollocan contiene las mayores concentraciones de MP, siendo la vialidad más contaminada.

Palabras Clave: *contaminación, metales pesados, partículas PM10, vialidades.*

1. Introducción

La contaminación del aire por metales pesados (MP) en las grandes ciudades es un tema de interés para la población en general, estos contaminantes son emitidos a partir de dos fuentes principales [1], [2], [3], la fuente difusa que es la que emiten los automotores a lo largo de toda la ciudad y la puntual que es la que emiten las empresas, la contaminación en las grandes ciudades difiere entre un punto a otro entre los diferentes tipos de uso de suelo y las diferentes vialidades [4], [5]. Estudios anteriores de instancias gubernamentales han determinado que la exposición prolongada de estos MP causa severas afecciones a la salud de la población entre estas afecciones se encuentran algunos tipos de neoplasia [6], [7].

Estudios de diagnóstico de contaminación por MP en vialidades primarias no se realizan periódicamente siendo estas son las más transitadas y con altas acumulaciones de tráfico vehicular, esto por el gran número de muestras que se necesitan para una evaluación detallada y por los altos costos que implican en los análisis químicos y el diagnóstico detallado, por lo que resulta urgente atender este problema de contaminación ambiental por MP en vialidades primarias, con estos estudios se puede evaluar la contaminación por MP y encontrar soluciones ambientales en los puntos con mayores concentraciones de estos contaminantes para revertir daños ambientales y de salud a la población que habita cerca de estas vialidades.

Estudios anteriores han demostrado que el uso de técnicas como el microscopio electrónico de barrido (MEB) con un espectrómetro de dispersión de rayos X (EDAX) acoplado al MEB permiten identificar

partículas de MP en polvo urbano a gran escala y con una gran resolución de imágenes, además el EDAX permite identificar de manera cuantitativa los elementos que estas partículas lo componen, además de ser una técnica no destructiva, rápida y con resultados altamente confiables [8], [9], por lo que no se generan contaminantes que regresan a la atmosfera que continúan causando daños ambientales y en la salud. Por lo que el objetivo de este trabajo es evaluar las concentraciones y la distribución de los MP para determinar cuál vialidad y cuál es el punto con mayores concentraciones de MP en vialidades primarias de Toluca, Edo. De México.

2. Metodología/Desarrollo

2.1 Área de estudio

La ciudad de Toluca es la capital del Ed. De México, esta se ubica en el centro del país, según la OMS en 2014 es la segunda ciudad más contaminada de México, esto por ser una ciudad industrializada que provee principalmente a la Ciudad de México, según datos del INEGI en su último censo de población (2010) Toluca contaba con 747.512 habitantes.

El muestreo se realizó tomando 100 g de polvo urbanos que se encontraba debajo de las aceras en las vialidades primarias de López Portillo y Paseo Tollocan, las muestras fueron tomadas dividiendo la longitud total de la avenida y tomando una muestra cada kilómetro a lo largo de toda la Vialidad, para el caso López Portillo se recolectaron 8 muestras y para el caso de Paseo Tollocan 9 muestras, estas fueron recolectadas a finales de marzo de 2015 antes de las primeras lluvias (Figura 1).



Figura 1. Mapa de puntos de muestreo, Toluca, Edo de México (imagen tomada de google earth, 2016).

Se identificaron partículas metálicas del polvo urbano para determinar si éstas contenían MP, además de identificar las concentraciones de estos MP. Se identificaron partículas menores a $10\text{ }\mu\text{m}$ de partículas con MP las cuales son altamente tóxicas para la población, por ser fácilmente inhalables, El proceso se realizó tomando 1 g. de muestra tamizada con malla del No. 10 (2 mm), posteriormente se homogenizaron y se colocaron sobre un portamuestras, estas previamente se les colocó un trozo de cinta adhesiva de carbono de 0.5 cm^2 para adherir las muestras y para que la muestra que la muestra fuera conductora. Se utilizó un MEB ambiental Philips (modelo ESEM XL30) con un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X (EDAX

Modelo GENESIS con detector SiLi,10L, 204Bt acoplado al MEB con una computadora para la adquisición de datos DPP FR2 y Software Génesis Ver, 6.37.

2.2 Análisis de datos

Se realizó una base de datos con los elementos que contenían las partículas metálicas con MP, se realizaron gráficas de barras indicando las concentraciones y elementos que contenían las partículas metálicas para identificar el punto con mayor concentración de MP.

3. Resultados y discusión

Con el análisis por MEB-EDAX se obtuvieron imágenes de los diferentes puntos de las vialidades; en ellas se pueden visualizar las altas concentraciones de contaminación por MP la figura 2a muestra polvo obtenido en la vialidad de Paseo Tollocan, mientras que la 2b muestra un polvo obtenido en la Av. López Portillo, esta imagen muestra que el Paseo Tollocan contiene las concentraciones más altas de MP, siendo esta avenida la más contaminada.

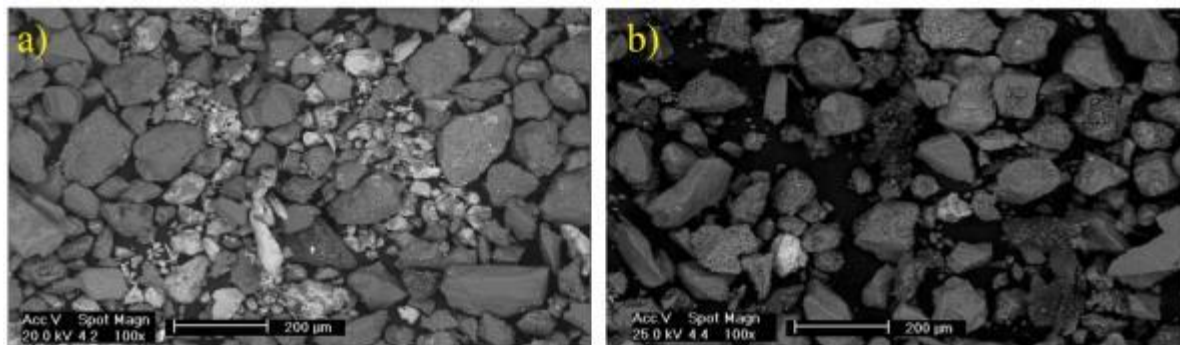


Figura 2. Muestras de polvo urbano de la ciudad de Toluca donde se muestran las altas concentraciones de partículas metálicas en: a) Paseo Tollocan; b) Av. López Portillo.

Con MEB se encontraron partículas metálicas de forma esférica en las dos vialidades, estas partículas están ligadas a la contaminación de los automotores, ya que al salir a una gran velocidad y a altas temperaturas, las partículas toman una forma esférica al instante (Figura 3). Con EDAX acoplado al MEB se pudieron identificar a partir de un haz retrodispersado elementos como el Fe, Ni, V, Ti y Cr.

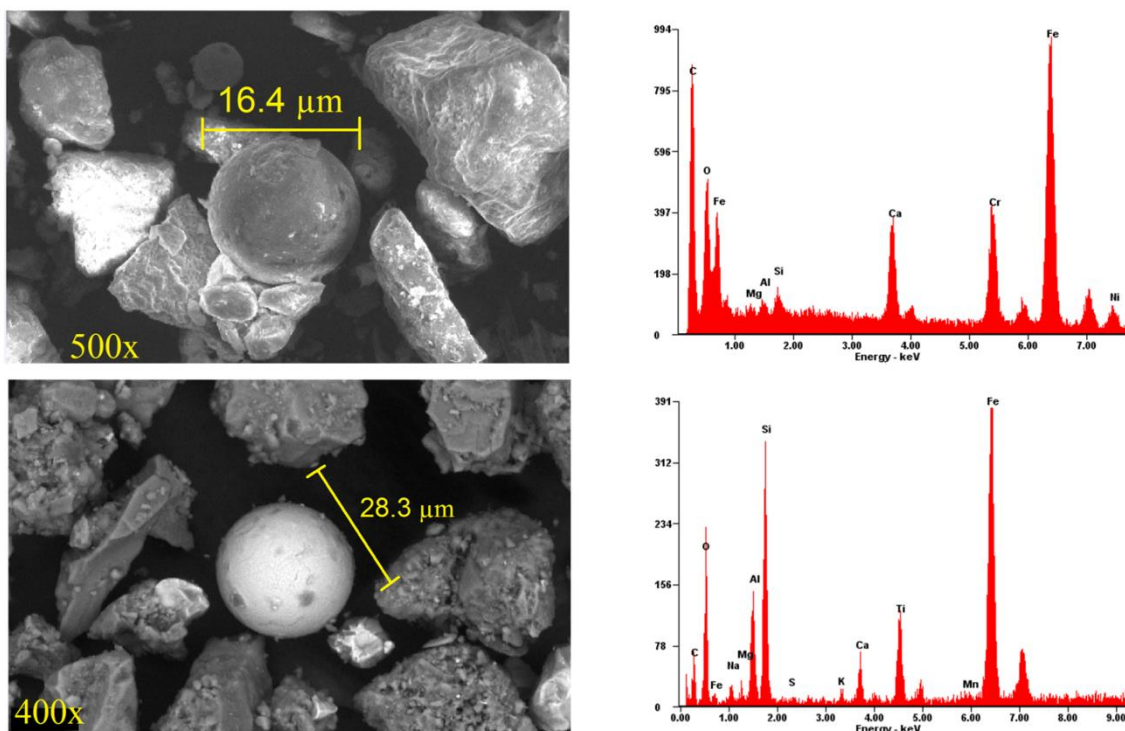


Figura 3. Partículas metálicas obtenidas a partir de MEB-EDAX donde se muestran partículas esféricas provenientes de fuentes antrópicas y los elementos que estas partículas contienen

Se realizaron gráficas donde se sumaron los porcentajes de cada elemento por punto de muestreo obteniendo porcentaje total para cada punto del análisis EDAX-MEB, se encontró que la Avenida Paseo Tollocan contiene los porcentajes más altos en las concentraciones de los elementos y que los puntos exteriores donde se cruzan ambas avenidas con la avenida Miguel Alemán contienen las concentraciones más altas para cada avenida (figura 4), además se realizó un mapa de distribución e incremento de las concentraciones totales de los elementos encontrados en cada punto de cada vialidad, (Figura 5).

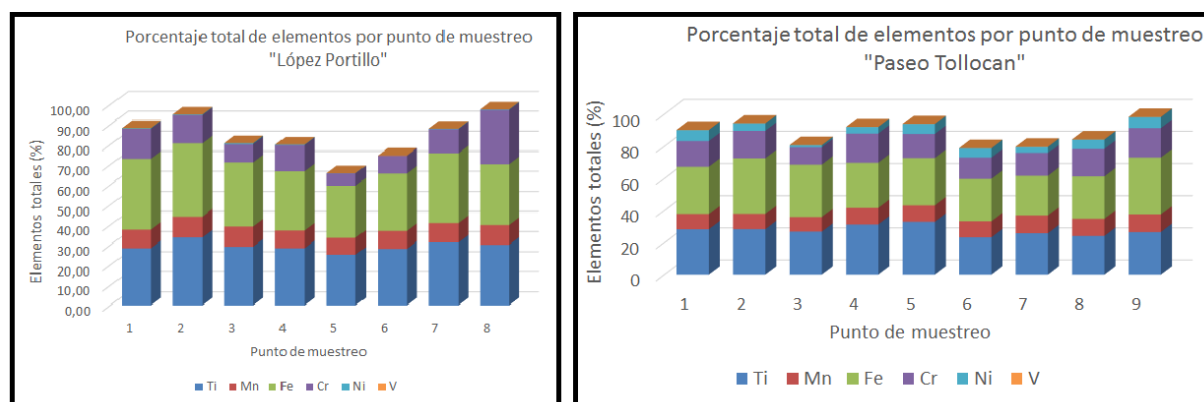


Figura 4. Gráfica de distribución de las concentraciones totales de los MP en las avenidas López Portillo y Paseo Tollocan.

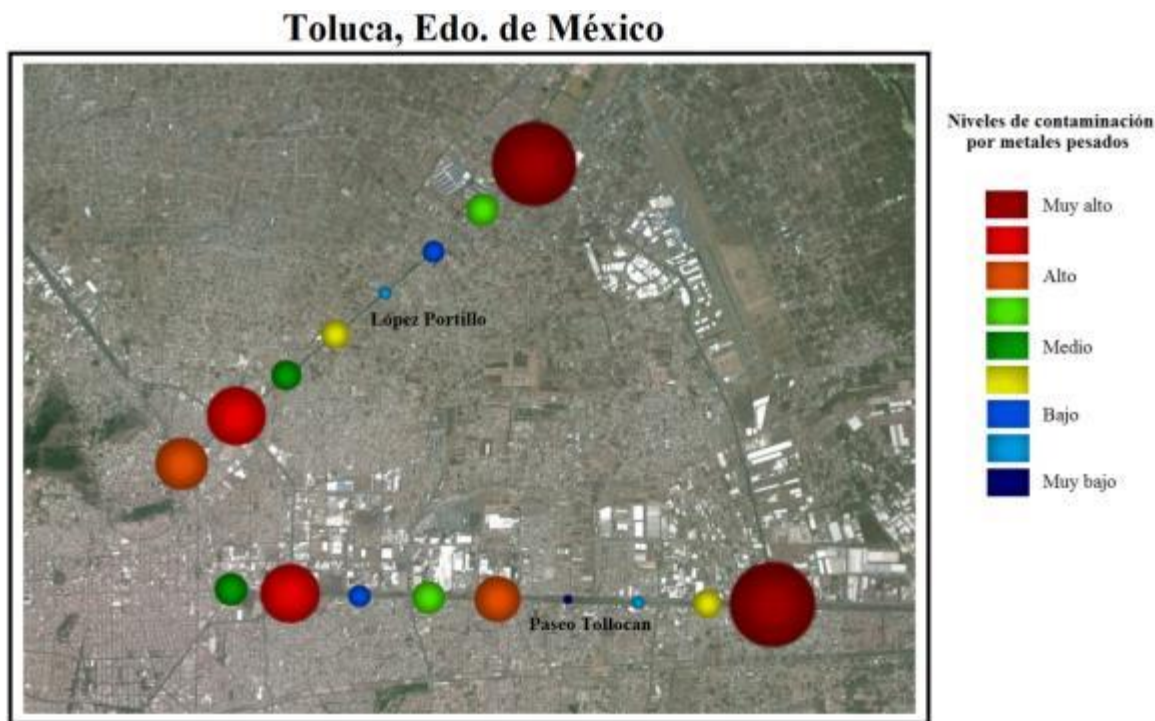


Figura 5. Mapa de distribución espacial de las concentraciones totales de MP en las avenidas Paseo Tollocan y López Portillo (imagen tomada de google earth, 2016).

Las ciudades están distribuidas de tal manera que las concentraciones de los contaminantes no serán parecidas entre los diferentes tipos de usos de suelos, las vialidades primarias incorporan una gran cantidad de polvo urbano el cual contiene MP que al ser inhalados causan afecciones de alto riesgo a la salud, sin embargo, se debe analizar las especies de cada elemento ya que no todas afectan de igual manera la salud, en este trabajo queda pendiente el análisis de fracciones químicas para determinar los componentes tóxicos de los MP [10], [11], [12].

4. Conclusión

Se encontraron altas concentraciones de Fe, Ni, Cr, V, Ti, V y Mn en los polvos urbanos de Toluca, Edo de México. Los puntos con mayores concentraciones de MP fueron los cruces de las avenidas Paseo Tollocan y López Portillo con la avenida Miguel Alemán. La vialidad de Paseo Tollocan contiene las mayores concentraciones de MP, siendo la vialidad más contaminada por MP.

Referencias

- Aguilar B., Mejía V., Goguichaishvili A., Escobar J., Bayona G., Bautista F., Morales C. J., y Ihl, T. (2013). Reconnaissance environmental magnetic study of urban soils, dust and leaves from Bogotá, Colombia. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 57, 741–754. doi:10.1007/s11200-012-0682
- Bautista F. (1999), *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México.
- Guzmán-Morales J., Morton-Bermea O., Hernández-Álvarez E., Rodríguez-Salazar M. T., García-Arreola M. E. y Tapia-Cruz V. (2011). Assessment of atmospheric metal pollution in the urban area of Mexico City, using *Ficus benjamina* as biomonitor. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 86(5), 495-500. doi: 10.1007/s00128-011-0252-9
- Cortés J.L., Bautista F., Quintana P., Aguilar D. y Gogichaishvili A. (2015). The color of urban dust as an indicator of contamination by potentially toxic elements: the case of Ensenada, Baja California, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 21(3), 255-266.

- Ihl T., Bautista F., Cejudo R., Delgado C., Quintana P., Aguilar D. y Goguitchaichvili A. (2015). Concentration of toxic elements in topsoils of the metropolitan area of México City: A spatial analysis using ordinary Kriging and indicator Kriging. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(1), 47–62. Obtenido de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/38711>
- World Health Organization. (2013), *Review of evidence on health aspects of air pollution-REVIHAAP.FirstResults*, Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe.
- Sabath D. E. y Osorio, L. R. (2012). Medio ambiente y riñón: Nefrotoxicidad por metales pesados. *Nefrología: Publicación oficial de la Sociedad Española de Nefrología*, 32(3), 279–286. doi: 10.3265/Nefrologia.pre2012. Jan.10928
- Jones S. E., Farrer J., Jenkins G. S., Legge F., Gourley J., Ryan K. y Grabbe, C. (2008). Extremely high temperatures during the World Trade Center destruction. *Journal of 9/11*, 19, 1-11.
- Cortés, J.L., (2015) *Color de polvos urbanos como indicadores de contaminación por elementos potencialmente tóxicos: El caso de Ensenada, Baja California*. Tesis de maestría. Morelia, Maestría en Geociencias y Planificación del Territorio, UMSNH-Morelia Michoacán.
- Bautista F., Cram-Heydrich S. y Sommer-Cervantes I., (2011). Suelos. In Bautista-Zúñiga, F., Palacio-Prieto, J.L., Delfín-González, H., (eds.), *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (pp. 227-258). México, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental.
- Covelo E. F., Vega F. A. y Andrade M. L. (2007). Simultaneous sorption and desorption of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in acid soils: II. Soil ranking and influence of soil characteristics. *Journal of hazardous materials*, 147(3), 862-870. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.01.108
- González-Flores E. (2011). *Efecto ambiental y económico-social por la aplicación de biosólidos de origen urbano como mejoradores de suelos agrícolas*, COLPOS, Puebla, México

Toxicidad de películas plásticas en *Daphnia* sp

¹Julieta Martínez Reyes, ²Omar Ángeles López, Maribel Velasco Pérez, Alethia Vázquez Morillas

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

²Laboratorio de producción acuícola acuario de la Facultad Estudios Superiores Iztacala UNAM

³Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Avenida San Pablo Xalpa 180, Azcapotzalco, Reynosa Tamaulipas, 02200 Ciudad de México. Teléfono: 5318 9057. e-mail: mvp@correo.azc.uam.mx

⁴Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

Resumen

El uso de bolsas degradables se ha promovido para mitigar los impactos ambientales asociados a los residuos de bolsas de plástico. De éstas las más comercializadas en México son las que contienen aditivos oxo degradables y, en menor medida, las composteables fabricadas a partir de ácido poliláctico (PLA, por sus siglas en inglés). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto tóxico de películas plásticas de polietileno de alta densidad (PEAD), de PEAD con aditivo oxo degradable (PEAD-oxo), de películas degradables de PLA y de un aditivo oxo degradable en *Daphnia* sp. Previo a las pruebas de toxicidad las películas de PEAD y PEAD-oxo se oxidaron en una cámara UV y se cortaron en segmentos de 1 cm × 0.5 cm. También, el aditivo oxo degradable se trituró a un tamaño menor a 0.285 mm. Las pruebas de toxicidad se realizaron para concentraciones de plástico y aditivo oxo degradable de 0.52 g/L a 6.5 g/L con un blanco y por quintuplicado. Se encontró que la concentración de película plástica o aditivo no tiene un efecto estadísticamente significativo ($p > 0.05$) en la mortalidad de *Daphnia* sp a 48 h, pero el tipo de plástico si tiene un efecto estadísticamente significativo. También se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza en la media de las películas plásticas Ecovio®, PEAD oxidado y el aditivo oxo degradable, pero la película PEAD oxo oxidado pertenece a un grupo diferente de medias.

Palabras Clave: aditivo pro oxidante, bolsas de plástico, plástico composteable, polietileno de alta densidad.

1. Introducción

Las bolsas desechables de plástico son un producto sin el cual sería difícil imaginar la vida moderna. Se estima que en México se producen anualmente 32 328 millones de éstas [1]. Este uso tan extendido se debe, en parte, a su estabilidad química, baja densidad, facilidad de producción y bajo costo. Sin embargo, al final de su vida útil, cuando se convierten en residuos, las bolsas se acumulan en ambientes acuáticos y terrestres. Actualmente no hay una estimación oficial de la generación de residuos de bolsas de plástico, pues los residuos plásticos se cuantifican por lo general de forma agregada. El porcentaje de plásticos en los residuos sólidos urbanos en México creció del 6.1% en 2006 al 10.9% en 2011 [2] y [3].

Ante la problemática ambiental asociada al uso y disposición inadecuada de las bolsas de plástico, se han desarrollado materiales de tiempo de vida programada. En el mercado mexicano los plásticos degradables más comunes son los que contienen aditivos oxo degradables y los hechos a partir de ácido poliláctico (PLA). Los plásticos oxo degradables están hechos de polímeros como el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET) y algunas veces de policloruro de vinilo (PVC), a los cuales se les añade aditivos pro-oxidantes, llamados comúnmente oxo. Estos aditivos, son generalmente compuestos orgánicos con metales de transición como hierro, níquel, cobalto, manganeso, magnesio y zinc [4]. El PLA es un biopolímero que se obtiene a partir de almidón extraído del maíz o trigo. El almidón es transformado mediante fermentación en ácido láctico, un monómero básico que mediante un proceso químico se polimeriza en PLA.

Algunas organizaciones pro-ambientales y gobiernos se han pronunciado por la prohibición del uso de bolsas de plástico. Sin embargo, es importante cuantificar rigurosamente los impactos de los plásticos en el

ambiente antes de imponer medidas que pueden afectar a un sector económico importante en el país. Las pruebas de toxicidad con organismos pueden aportar información valiosa en este sentido. En éstas se evalúa la respuesta de organismos que son sometidos a una serie de concentraciones de una sustancia o una mezcla de sustancias por un tiempo definido y que pueden actuar aisladamente o en combinación con otros compuestos de la mezcla [5].

El cladóceros de agua dulce *Daphnia* sp, conocido comúnmente como pulga de agua, se utiliza frecuentemente para bioensayos de toxicidad, siendo sus resultados comparables entre laboratorios [5]. *Daphnia* sp es un organismo que ha sido aprobado oficialmente en pruebas de toxicidad en varios países como Francia, Noruega, Suecia, Canadá y Estados Unidos [5]. Otros países han implementado la metodología, aunque en algunos de ellos, esta especie no es residente, como es el caso de México, en donde su hábitat se ha reportado principalmente en la parte Norte del país.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto tóxico de películas plásticas de polietileno de alta densidad (PEAD), de PEAD con aditivo oxo degradable (PEAD-oxo), de películas degradables de PLA y de un aditivo oxo degradable en *Daphnia* sp.

2. Metodología

La metodología constó de dos etapas generales, la preparación de las películas plásticas y aditivo, y la evaluación de la toxicidad de estos materiales. La experimentación se llevó a cabo en el laboratorio del Área de Tecnologías Sustentables de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco y el Acuario Juan Luis Cifuentes Lemus de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Se evaluaron tres películas plásticas (polietileno de alta densidad, PEAD; polietileno de alta densidad con aditivo oxo degradable, PEAD oxo; plástico compostable de PLA, Ecovio ®) y un aditivo oxo degradable en pellets en *Daphnia* sp.

2.1 Preparación de las películas plásticas y el aditivo oxo degradable

2.1.1 Corte de las películas plásticas

Las películas plásticas se cortaron primero en tiras de 1 cm × 26 cm y después éstas se cortaron en segmentos de 0.5 mm. El corte se realizó extendiendo las películas sobre un vidrio y cortando con un bisturí, se utilizó una hoja milimétrica como referencia.

2.1.2. Cámara de oxidación ultravioleta

Las películas PEAD y PEAD oxo se sometieron a un proceso de oxidación ultravioleta, conocido como intemperismo acelerado, previo a la evaluación de su efecto tóxico en *Daphnia* sp. La intemperización de las películas se realizó en una cámara UV para tratamiento intensificado de foto y termo-oxidación, ver Figura 1 [6]. Las tiras de plástico de 1 cm × 26 cm se colocaron en el carrusel de la cámara UV por 96 h. Después, estas tiras se cortaron con el procedimiento descrito en la sección anterior en segmentos de 1 cm × 0.5 cm.

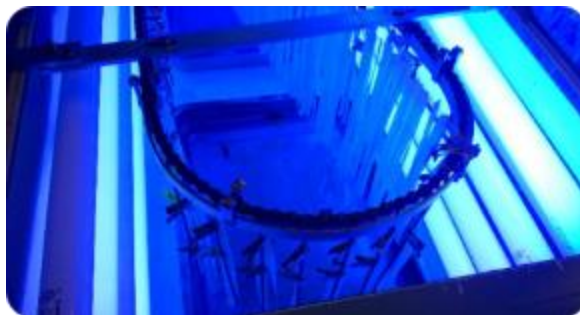


Figura 1. Cámara de intemperismo acelerado usada para la oxidación de películas plásticas

2.1.3. Preparación del aditivo pro oxidante

Los pellets del aditivo pro oxidante se trituraron con un molino marca IKA® WERKE. Éstos se tamizaron a un tamaño de partícula menor a 2.85 mm. En la figura 2 se muestra el proceso para la preparación del aditivo oxo degradable.

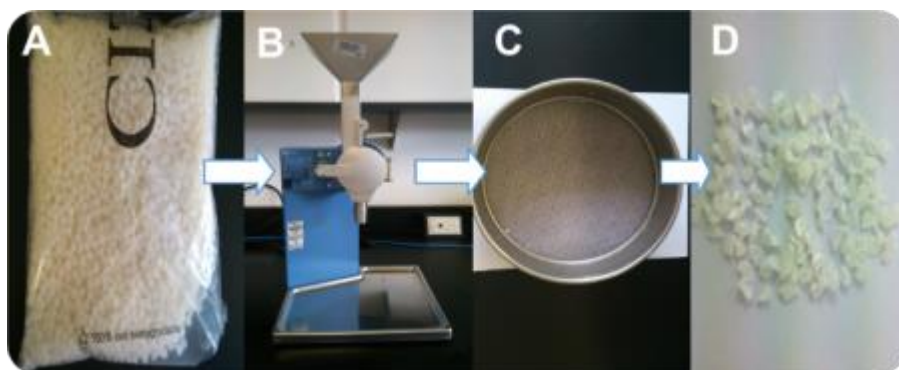


Figura 2. A) Aditivo oxo degradable en pellets, B) molino, C) tamiz y D) aditivo oxo degradable molido y tamizado.

2.2. Evaluación de toxicidad

2.2.1 Preparación de medio de cultivo

Los organismos *Daphnia* sp. se mantuvieron en una solución de sales, conocida como medio Environmental Protection Agency (EPA), para simular las condiciones óptimas para su desarrollo. La composición de este medio se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de la solución de sales (medio EPA) en la que se mantuvo al organismo *Daphnia* sp

Reactivo	Concentración (mg/L)
Bicarbonato de sodio (NaHCO_3)	95.20
Sulfato de magnesio (MgSO_4)	60.50
Sulfato de calcio (CaSO_4)	60.20
Cloruro de potasio (KCl)	0.20

2.2.2. Cultivo de *Daphnia* sp

En tres vasos se agregó 1 individuo por cada 10 mL de medio EPA, cada 24 h se cambió el medio y se proporcionó alimento a los individuos con 1 mL de *Chlorella vulgaris*. El cultivo se realizó por 144 h.

2.2.3. Pruebas de toxicidad

Para cada tipo de plástico y aditivo se seleccionaron tres concentraciones con cinco réplicas (tabla 2). Las concentraciones de plástico y aditivo se seleccionaron con base en una revisión bibliográfica.

Tabla 2. Concentraciones para cada tipo de plástico utilizadas en las pruebas de toxicidad

Tipo de plástico	Concentración de plástico (g/L)	Réplicas
Blanco (<i>Daphnia</i> sp sin plástico o aditivo)	0	5
Película de PEAD oxidada	0.52	5
	3.5	5
	6.5	5
Película de PEAD con aditivo oxodegradable oxidada	0.52	5
	3.5	5
	6.5	5
Película Ecovio ®	0.52	5
	3.5	5
	6.5	5
Aditivo oxo degradable	0.52	5
	3.5	5
	6.5	5

Las pruebas se realizaron en vasos de vidrio marca Crisa modelo Chaser de 148 mL. Estos vasos se lavaron con jabón libre de fosfatos, se secaron y se aforaron a 100 mL. A cada vaso se le agregó 10 organismos *Daphnia* sp por cada 100 mL de medio EPA y 1 mL de *Chlorella vulgaris*. Debido a que las películas plásticas se acumularon en la superficie del agua y bloquearon mecánicamente el intercambio de oxígeno, a cada vaso se le colocó una manguera con una punta para pipeta (figura 3), sumergiendo sólo la punta de pipeta para evitar cualquier posible reacción de la manguera con el medio EPA. Esta manguera se utilizó para adicionar aire en el vaso con el medio EPA.

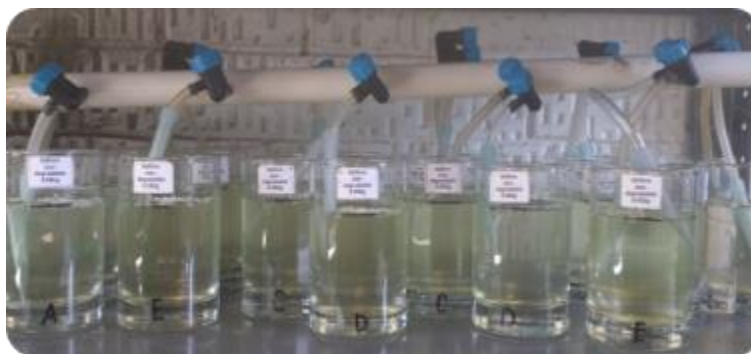


Figura 3. Montaje de pruebas con adición de oxígeno

Mantenimiento, alimentación y separación de organismos

El medio EPA al que estuvieron expuestos los organismos se renovó cada 24 horas. Primero se traspasaron los individuos muertos con ayuda de una pipeta de Pasteur a otro recipiente, posteriormente con ayuda de una espátula se retiró el plástico que estaba en la superficie; el plástico que se encontraba en el fondo, así como los organismos vivos que se encontraban en el recipiente se vertieron con ayuda de un tamiz de 50 µm al nuevo medio. Finalmente se registró el número de organismos muertos en una bitácora.

2.3. Análisis de resultados

Para cada condición experimental se calculó la mortalidad de *Daphnia* sp. con la siguiente ecuación.

$$M_{48h} = B_{48h} - S_{48h} \quad (1)$$

Donde M_{48h} es mortalidad, B_{48h} es el número de organismos vivos en el blanco a las 48 h de exposición y S_{48h} es el número de organismos vivos en cada recipiente con plástico a las 48 h de exposición.

Para evaluar estadísticamente el efecto tóxico de las películas plásticas y el aditivo primero se determinó mediante las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Chi-cuadrada si las muestras tenían una distribución normal. Después, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial (factor 1: concentración de plástico o aditivo, factor 2: tipo de plástico o aditivo) con la variable dependiente (mortalidad) con un nivel de confianza del 95%. Finalmente, se realizó una prueba de múltiples rangos para observar si existían diferencias estadísticamente significativas en la homogeneidad de grupos de plásticos.

3. Resultados y discusión

La mortalidad a 48 h (M_{48h}) se encuentra normalmente distribuida con valores de $p > 0.05$ en la prueba Kolmogorov-Smirnov y $p > 0.05$ en la de Chi-Cuadrada. La Figura 4 presenta la mortalidad (M_{48h}) para *Daphnia* sp. por tipo de película plástica y concentración.

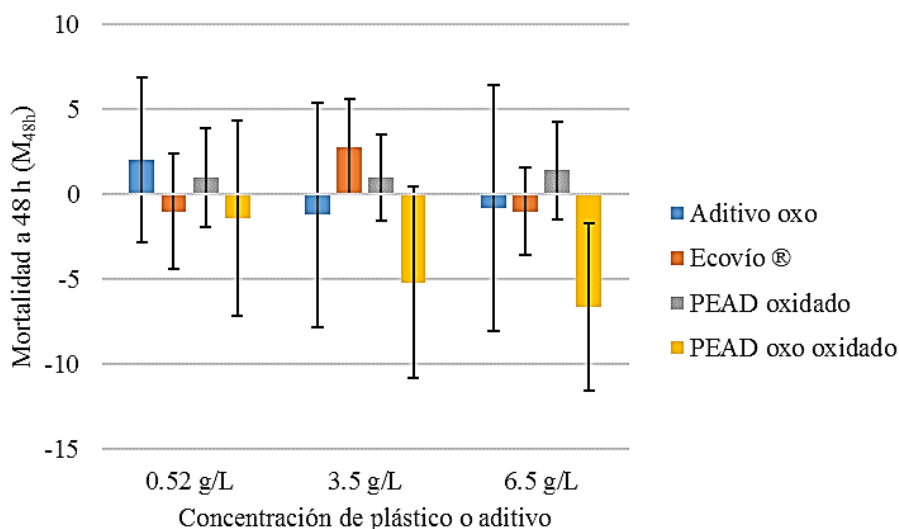


Figura 4. Mortalidad a 48 h (M_{48h}) por tipo de película plástica y concentración

De acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) multifactorial el factor “tipo de plástico” tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en la mortalidad de *Daphnia* sp.; mientras que el factor “concentración de plástico” no tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p > 0.05$). Finalmente, la prueba de rangos múltiples, tabla 3 reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas con un

nivel del 95.0% de confianza en la media de las películas plásticas Ecovio ®, PEAD oxidado y el aditivo oxo degradable, pero la película PEAD oxo oxidado pertenece a un grupo diferente de medias.

Tabla 3. Prueba estadística de múltiples rangos

Tipo de plástico o aditivo	Casos	Media LS*	Sigma LS**	Grupos homogéneos
Película de PEAD oxidada	15	-4.4	1.19	X
Película de PEAD con aditivo oxo degradable oxidada	15	0.0	1.19	X
Película Ecovio ®	15	0.26	1.19	X
Aditivo oxo degradable	15	1.13	1.19	X

*Media estimada por mínimos cuadrados

**Error estándar estimado de la media de mínimos cuadrados

Inicialmente se esperaba una mayor mortalidad de la especie *Daphnia* sp con el aditivo oxo degradable, por el contenido de metales en éste. Sin embargo, según el análisis estadístico, este aditivo no provocó mortalidad en *Daphnia* sp en las concentraciones estudiadas. Para las películas plásticas PEAD oxidado y Ecovio ® la baja mortalidad observada se puede atribuir a la ausencia de metales en estos plásticos. El PEAD con aditivo oxodegradable oxidado resultó ser el plástico con mayor mortalidad en *Daphnia* sp., estos resultados se pueden explicar debido a que la oxidación previa a la que este plástico fue sometido hace que los metales contenidos en el aditivo o los productos de degradación del plástico se encuentren disponibles para los organismos.

3. Conclusiones

La acumulación de residuos plásticos en el ambiente es un problema en el que la solución debe de involucrar a muchas áreas del conocimiento humano. En esta investigación se evaluó el efecto tóxico de las películas plásticas Ecovio ®, PEAD oxidada, PEAD con aditivo oxo degradable oxidada y un aditivo pro oxidante en pellets en *Daphnia* sp. No se pudo determinar la dosis letal media (LD₅₀) de los plásticos y del aditivo debido a que no se alcanzó el 50 % de mortalidad para ninguna de las muestras analizadas.

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que las películas plásticas Ecovio ®, PEAD oxidado y el aditivo pro oxidante no presentan ningún efecto tóxico en *Daphnia* sp a las concentraciones de plástico evaluadas (0.52 g/L – 6.5 g/L). Sin embargo, el PEAD con aditivo oxo degradable oxidado presentó un efecto ligeramente negativo y estadísticamente significativo (con un nivel de significancia del 5 %) en la mortalidad de *Daphnia* sp. Por lo que se sugiere analizar más detalladamente estas películas.

Agradecimientos

Esta investigación forma parte del proyecto Evaluación de la biodegradabilidad y ecotoxicidad de plásticos oxodegradables y biodegradables en condiciones aerobias y anaerobias, financiado por el Fondo mixto CONACYT - SECITI 2012-2, 188735.

Referencias Bibliográficas

- [1] CNN (2010). Inboplast invertirá 125 mdd en reciclaje. Revista CNN Expansión, 19 agosto, pp.3 [En línea] Disponible en: <http://www.cnnexpansion.com/economia/2010/08/Me19/bolsa-plastico-reciclaje-ley-expansion>. [Consultado en el 15 de julio de 2014]
- [2] Semarnat (2007). ¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- [3] Semarnat (2013). Informe de la situación del medio ambiente en México, Edición 2012. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental. Secretaría de Medio Ambiente

y Recursos Naturales.

- [4] European bioplastics, (2009), Oxo-Biodegradation, [en línea], disponible en: http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2011/04/pp/Oxo_PositionsPaper.pdf , [consultado el 21 de Febrero del 2014].
- [5] Acevedo, C. A. (2003). Determinación de la concentración letal media *Daphnia magna* utilizando tóxicos de referencia. Tesis profesional de Licenciatura. México: Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México
- [6] Aragón, G.G., León G.A., y Cano, B.M. (2011). Manual de usuario de la cámara de intemperismo acelerado con radiación UV, Documento Área de Tecnologías Sustentables Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México, D.F., México

SECCION 5

SOCIEDAD Y

GOBIERNO

Estudio de los conocimientos, actitudes y prácticas que la población tiene respecto al manejo integral de los residuos sólidos urbanos en Tepic, Nayarit.

¹Edgar David Vizcarra Villa, ²Claudia Estela Saldaña Durán, ²Sarah Ruth Messina Fernández

¹ Universidad Autónoma de Nayarit, Licenciatura en Comunicación y Medios. Área de Ciencias Sociales y Humanidades. Ciudad de la Cultura “Amado Nervo” S/N, C.P. 63155. Tel. (311) 2 11 88 00, Tepic, Nayarit, México. vidvizcarra@gmail.com

²Universidad Autónoma de Nayarit

Resumen

El presente trabajo se realizó con el propósito de indagar en los conocimientos, actitudes y prácticas que la población tiene respecto al reciclaje y la separación de residuos. Esta información pretende servir para diseñar un plan estratégico de comunicación que promueva la participación activa de la ciudadanía hacia el manejo integral de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Tepic, Nayarit. El proyecto se desarrolló bajo el enfoque de investigación cuantitativo y fue de tipo descriptivo. Se utilizó la encuesta como técnica de recolección de datos. Los resultados mostraron que existe una confusión en buena parte de la población sobre la concepción de términos como reciclaje, residuos orgánicos y residuos inorgánicos, además, una significativa parte desconoce en qué consiste el proceso de separación y recogida selectiva de basura. Sin embargo, la gran mayoría de la población está consciente de que el cuidado y preservación del medio ambiente es responsabilidad de todos y considera muy urgente adoptar medidas para su protección. Asimismo, están dispuestos a participar en un programa de separación de residuos. Finalmente, los resultados permitieron indagar en los medios de comunicación preferidos para informar y persuadir a la población sobre el manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos, siendo la televisión, las redes sociales, los folletos, trípticos y materiales impresos los más elegidos.

Palabras Clave: *Estrategia de comunicación, residuos sólidos urbanos, reciclaje, separación de residuos.*

1. Introducción

En los últimos años, la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) ha aumentado de manera alarmante en el mundo como consecuencia del crecimiento acelerado de la población, el desarrollo económico, la industrialización y la implantación de modelos económicos que fomentan en la mayor parte de la población los hábitos de consumo.

Debido al manejo inadecuado de los RSU se han ocasionado impactos en el medio ambiente como la contaminación atmosférica, la contaminación de suelos y agua, las amenazas a la flora y fauna. También, los residuos sólidos han causado impactos negativos en la salud humana, debido a que son fuente de transmisión de enfermedades [1].

En México, se generan alrededor de 42 millones de toneladas de RSU cada año, lo que equivale a cerca de 112.5 mil toneladas diariamente y 0,99 kilogramos per cápita [1]. La generación de estos residuos se ha incrementado en más del 90% en los últimos años, pasando de 21,9 millones de toneladas en 1992 a 41,1 millones de toneladas en 2012 [2].

En la ciudad de Tepic, la generación total de RSU asciende a alrededor de 414.5 toneladas por día, lo que corresponde a 1.09 kilogramos per cápita [3]. Además, los estudios muestran que la biomasa representa el mayor porcentaje de la composición física de los RSU, con un 48.74 %; 10.9 % plásticos, 17.01 % materiales no recuperables, 8.88 % materiales recuperables, 13.88 % celulosa sanitaria y 0.59 % residuos peligrosos. Esto revela que la materia orgánica es el principal material que se genera en la ciudad, lo que representa un grave problema de contaminación [3].

Sin embargo, el estudio también reveló que es factible y económicamente atractivo recuperar y reciclar: plásticos, papel y cartón, aluminio, vidrio y materia orgánica (fabricando composta) [3]. Es importante hacer énfasis en este último punto, puesto que en la ciudad de Tepic, de acuerdo a los bajos porcentajes de recuperación de estos materiales (es decir, su alta presencia en el flujo de residuos mezclados) se revela que no existe una cultura del reciclaje, sino más bien una falta de cultura ambiental y un sistema que fomenta el consumismo más que el reciclaje y la protección del medio ambiente [3].

Cabe mencionar que Tepic no cuenta con un relleno sanitario para la eliminación adecuada de los RSU, se entierran en el sitio llamado “El Iztete” ubicado al norte de la ciudad. Otro estudio reveló que en el sitio, los pepenadores separan de forma manual materiales en pequeños porcentajes como plástico, aluminio, metales, madera, papel y cartón que se destinan a la comercialización. Los pepenadores y recolectores, no cuentan con equipos para la clasificación de materiales, incluso sufren de problemas de salud y lesiones debido al polvo y objetos punzocortantes. El proceso de la mezcla de los residuos que no se alcanzan a separar, se entierran con pala mecánica [4].

Ante este panorama, se vuelve evidente que el procedimiento actual de reciclaje en la ciudad de Tepic es ineficiente, principalmente porque no hay una separación selectiva de residuos en la fuente (los hogares) y los pepenadores realizan una actividad que pone en peligro su salud; además de que no es rentable por el tiempo y los riesgos que implica. Por ello, es necesario implementar un programa de gestión integral de residuos sólidos urbanos que contribuyan a frenar el inminente impacto ambiental que se ha ocasionado por el mal manejo de los residuos sólidos.

Sin embargo, la comunicación es un factor clave en cualquier programa de desarrollo puesto que el hecho de consultar con la población y promover su participación activa en la adopción de las decisiones que la afectarán es casi una garantía del éxito para el programa [5]. En este orden de ideas, esta investigación tuvo como propósito indagar en los conocimientos, actitudes y prácticas que la población tiene respecto al reciclaje y la separación de residuos. Esta información pretender servir para diseñar un plan estratégico de comunicación que promueva la participación activa de la ciudadanía hacia el manejo integral de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Tepic, Nayarit.

2. Metodología

La metodología que se utilizó para diseñar este proyecto de cambio social, se basó principalmente en los enfoques y principios del marketing social, el cual permite establecer los contenidos y formas que deben tener los mensajes y cómo deben ser construidos para tener real influencia en las actitudes y comportamientos respecto a un tema en particular [6]. Dicho enfoque, sugiere que una buena estrategia debe enfocarse principalmente en las necesidades y deseos del público objetivo. Por tal motivo se recolectó información sobre los conocimientos, actitudes y prácticas que la población tiene respecto al reciclaje y la separación de residuos. Se recurrió a la encuesta como técnica de recolección de información.

Población y muestra

La población estuvo conformada por los habitantes de la colonia Comerciantes de la ciudad de Tepic, la elección se hizo con base en los resultados de otra encuesta aplicada previamente en diversas colonias de la ciudad, donde se evaluó, entre otros aspectos, la participación ciudadana. De acuerdo con cifras del INEGI [7], la colonia Comerciantes tiene una población total de 3,042 habitantes aproximadamente y cuenta con alrededor de 868 viviendas. Sin embargo, para efectos de este estudio, la población estuvo integrada únicamente por 739 viviendas particulares. El cálculo de la muestra representativa se realizó con la siguiente ecuación (1) y se utilizó la técnica de muestreo aleatorio simple para aplicar las encuestas.

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + k^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

N: es el tamaño de la población o universo.

k: es nivel de confianza.

e: es el error muestral deseado.

p: es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio (regularmente se desconoce por lo que se asigna el valor de 0.5).

q: es la proporción de individuos que no poseen esa característica (1-p)

n: es el tamaño de la muestra (número de encuestas que vamos a hacer).

Para desarrollar la formula, se utilizó una aplicación en línea [8] donde se ingresaron los valores correspondientes a cada variable y automáticamente la aplicación calculó el tamaño muestral (ver Figura 1), siendo 253 hogares los que se tuvieron que encuestar.

N: 739

k: 1.96

e: 5 %

p: 0.5

q: 0.5

Calcular muestra

n: 253

Figura 1: Valores para calcular el tamaño de la muestra representativa.

Instrumento

Como se mencionó anteriormente, se eligió la encuesta como instrumento de recolección de información, para ello se elaboró un cuestionario con 22 preguntas cerradas (el sujeto seleccionaba entre diferentes opción la respuesta que mejor representara su opinión) y 5 preguntas abiertas (el sujeto era libre de expresar su opinión). Las preguntas fueron agrupadas en cinco categorías de análisis, las cuales se describen a continuación:

- **Datos generales:** se preguntó la edad, el género y el nivel de escolaridad para identificar y describir a los encuestados.
- **Conocimientos:** se cuestionó sobre el significado de la palabra “reciclar”, la diferencia entre residuos orgánicos e inorgánicos, también en qué consiste el proceso de separación y recogida selectiva de basura, y sobre los materiales que se pueden reciclar.
- **Actitudes:** se indagó en la actitud que las personas tienen respecto al problema de los residuos sólidos urbanos: si lo consideran un problema, qué tan importante y urgente es para ellos. Además, se examinó la actitud respecto a la implementación del programa de separación de residuos: si están dispuestos a participar, cómo consideran la iniciativa, cuáles son sus inquietudes respecto al programa.
- **Prácticas:** se buscó conocer las prácticas actuales que las personas tienen en cuanto al reciclaje y separación de residuos: si reciclan, cuáles materiales reciclan, por qué reciclan, si separan los residuos, cómo los separan, por qué los separan.
- **Comunicación:** en esta categoría se indagó sobre los medios de comunicación más frecuentes por los cuales las personas han conocido campañas que promueven el cuidado del medio ambiente, además, se indagó en su opinión sobre cuáles son los medios que consideran más indicados para

informar a los ciudadanos sobre el reciclaje y conseguir que participen, también, se cuestionó a través de cuáles medio de comunicación les gustaría recibir información sobre el reciclaje y todo lo referente al programa de separación de residuos que se planea implementar. Por último se analizó la viabilidad de utilizar las redes sociales, específicamente Facebook, como un medio de comunicación.

Las encuestas fueron aplicadas de manera personal y en los domicilios de los habitantes para asegurar que se completaran el número de encuestas requeridas y para resolver cualquier inquietud que pudiera presentarse.

Análisis de datos

El análisis de los datos se realizó a través de la aplicación en línea Google Forms, el cual permitió mantener organizada y actualizada la información, con la posibilidad ver los resultados gráficamente en cualquier momento. Aunque las encuestas se aplicaron físicamente, posteriormente fueron capturadas en la plataforma en línea. El análisis de los resultados se hizo con base en las gráficas generadas automáticamente por Google Forms.

3. Resultados y discusión

Respecto a los datos generales de los encuestados, los resultados mostraron que el 57.5% fueron mujeres y el 42.5% fueron hombres. Además, el 57.5% de esta población tiene entre 18 y 40 años de edad. Respecto al nivel de escolaridad, el 16.7% tiene un nivel de primaria, el 27.4% de secundaria, el 26.2% tiene un nivel de bachillerato, el 11.5% de universidad y sólo el 10% no tiene escolaridad.

En cuanto a los conocimientos que la población tiene sobre el reciclaje podemos apreciar que existe una notable confusión respecto a la definición de dicho término, debido a que del 88% de los encuestados que afirman saber en qué consiste el reciclaje, el 48.87% considera que es “reutilizar los residuos” y el 45.7% que es “separar los residuos”. Si bien estas ideas forman parte del proceso de reciclaje, sólo hubo un 5.43% de los encuestados que definió el proceso de manera adecuada (ver Figura 2). Entonces, podemos generalizar que la concepción que tiene la población sobre el reciclaje es muy básica y en muchos casos errónea.

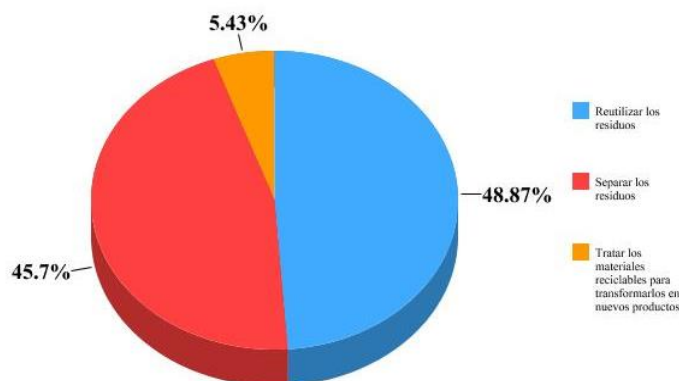


Figura 2: Para usted ¿Qué es el reciclaje?

Asimismo, al pedir a los encuestados que identificaran cuáles eran los residuos orgánicos y cuáles los residuos inorgánicos, el 58.5% no supo distinguir entre estos dos tipos de residuos. Es necesario hacer énfasis en este punto, puesto que la separación de residuos en orgánicos e inorgánicos es la clasificación más básica, sin embargo, el 33.6% pudo identificar entre ambos tipos de residuos (ver Figura 3).

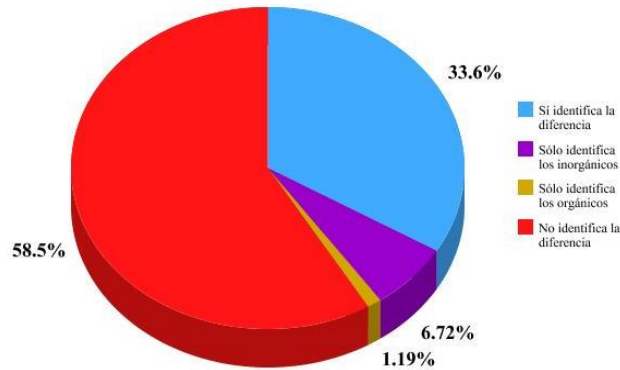


Figura 3: ¿Identifica la diferencia entre residuos orgánicos y residuos inorgánicos?

Por otra parte, la actitud que los encuestados tienen respecto al cuidado y preservación del medio ambiente es favorable, debido a que el 87.3% opina que es responsabilidad de todos (ver Figura 4), además el 82.14% considera que la adopción de medidas en cuanto a la protección del medio ambiente tiene que ser muy urgente (ver Figura 5). También, el 96.4% cree que reciclar es importante, principalmente para cuidar el medio ambiente, reducir la contaminación y la cantidad de basura (ver Figura 6).

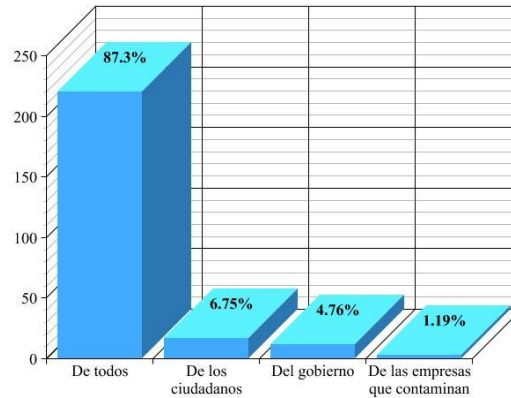


Figura 4: ¿De quién cree que es responsabilidad el cuidado y preservación del medio ambiente?

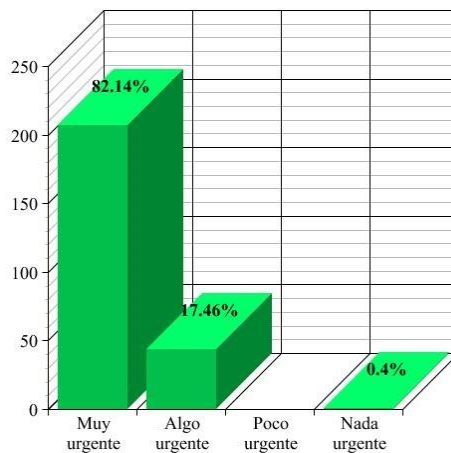


Figura 5: ¿Qué tan urgente considera la adopción de medidas en cuanto a la protección del medio ambiente?

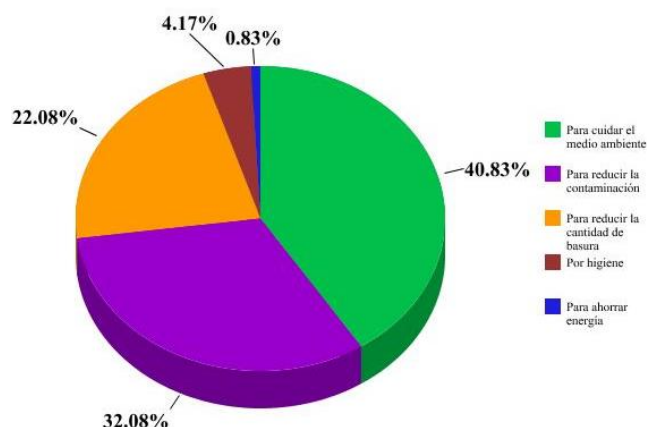


Figura 6: ¿Por qué cree que es importante reciclar?

Asimismo el 63.1% de los encuestados considera que comenzar a separar los residuos en su colonia es una idea “muy buena” y el 35.7% la catalogó como “buena” (ver Figura 7). Además el 94.8% estaría dispuesto a participar (ver Figura 8).

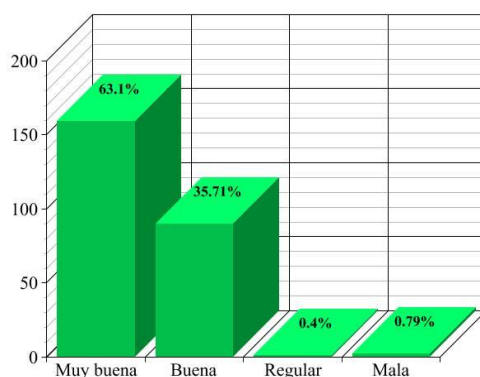


Figura 7: ¿Cómo considera la idea de comenzar a separar los residuos en su colonia?

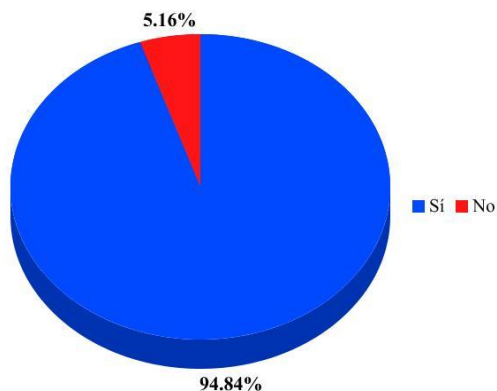


Figura 8: ¿Estaría de acuerdo en participar en un programa de separación de basura?

Sin embargo, se detectó que el 36.3 % de los encuestados considera que el desconocimiento de la forma de separar los residuos es el principal factor por el que se les dificulta hacerlo. Además un 27.9 % piensa que

se requiere de un espacio amplio para depositar los residuos y en los hogares se carecen de este. Un 19.9% considera que separar los residuos es una pérdida de tiempo, principalmente porque el camión recolector no la separa. El 12% supone que el desconocimiento de las ventajas de separar la basura es una razón que dificulta la acción. La flojera, la falta de tiempo y la falta de cultura fueron otras de las respuestas que aparecieron pero en menor medida.

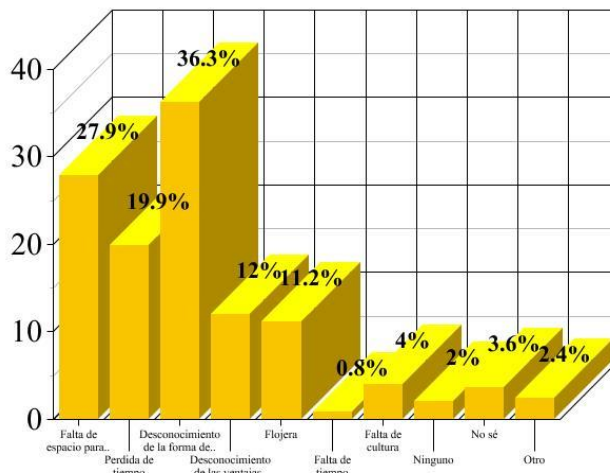


Figura 9: ¿Cuáles aspectos cree que dificultan separar la basura?

Por el contrario, el factor que consideran más importante y los motivaría a separar los residuos es saber que lo que están haciendo es benéfico para el medio ambiente, además los motivaría el hecho de que hubiera más lugares o contenedores para depositar los residuos, así como conocer más información sobre cómo separarlos.

Actualmente en la colonia Comerciantes, el 70.2% de los hogares encuestados afirmó separar el plástico PET, esto se debe principalmente a que en la Escuela Primaria Mario Moreno Reyes, ubicada en la misma colonia, se les solicita a alumnos y padres de familia este material. Los fondos obtenidos de la venta del plástico a empresas privadas de reciclaje son para beneficio de la escuela. El 33.3% asegura separar los restos de comida, un 27.8% separa el cartón, el 21.4% separa los metales y el vidrio. Sólo el 18.7% reveló que no separa ningún material. Si bien estas cifras parecen alentadoras, cabe mencionar que en muchos de los casos estos materiales son separados ocasionalmente y no supone un hábito en los hogares.

Por último, respecto a los medios de comunicación que los encuestados prefirieron para recibir información sobre el reciclaje y la separación de basura fueron la televisión con un 46.4%, las redes sociales con 33.3% y los folletos, trípticos u otros materiales impresos con 25.8%. Además, el 63.9% de los encuestados utiliza Facebook por lo que se vuelve una herramienta óptima para informar y persuadir a la población.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir de este análisis servirán como base para la elaboración de un plan estratégico de comunicación que promueva la participación activa de la ciudadanía hacia el manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos, dicho plan pretende contribuir al proyecto “Modelo de Gestión Urbana: residuos sólidos urbanos hacia la sustentabilidad de la ciudad de Tepic”, el cual trata de generar, aplicar y evaluar un modelo de gestión urbana sobre residuos sólidos urbanos, basado en una perspectiva gobierno-sociedad-academia, a través de un enfoque social y tecnológico. El plan estratégico de comunicación debe coadyuvar al cumplimiento de los objetivos del proyecto, puesto que el establecimiento de canales de comunicación efectivos y permanentes es un elemento esencial en el éxito de los programas

de gestión social. Además, este trabajo queda abierto para futuros estudios que pueden ser analizados desde el método cualitativo.

Referencias

- [1] SEMARTAT. (2012). Residuos sólidos y urbanos: la otra cara de la basura. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39412/residuos_solidos_urbanos_enc-arte.pdf
- [2] Jiménez, N. (2015). La gestión integral de los residuos sólidos en México: entre la intensión y la realidad. Letras verdes. *Revista latinoamericana de estudios socioambientales*, 17, 29-56.
- [3] Saldaña Durán, C. E., Hernández Rosales I. P., Messina, S., Pérez Pimienta, J. A. (2012). Caracterización física de los residuos sólidos urbanos y el valor agregado de los materiales recuperables en el vertedero el Iztete, de Tepic-Nayarit. *Revista Internacional de contaminación ambiental*, 29, 25-32.
- [4] Saldaña Durán, C. E., Hernández Rosales I. P., Messina, S., Pérez Pimienta, J. A. (2011). Viabilidad de la valorización energética de los RSU que se generan en el vertedero el Iztete, de Tepic-Nayarit. Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima. 361-366.
- [5] Fraser, C. y Villet, J. (1995). La comunicación. Clave para el desarrollo humano, Roma: FAO.
- [6] Dastres, C. y Muzzopappa, E. (2003). La comunicación como estrategia para orientar a la ciudadanía frente a la violencia y la criminalidad. Centro de Estudios en Seguridad Ciudadana. Universidad de Chile.
- [7] INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Censo de población y vivienda 2010. <http://www.inegi.org.mx/>
- [8] <http://www.feedbacknetworks.com/cas/experiencia/sol-preguntar-calcular.html>

Análisis de la participación social en cuestiones de Gobernanza Ambiental en materia de residuos sólidos urbanos en los municipios de Zapopan y San Pedro Tlaquepaque

¹Beatriz Adriana Venegas Sahagún

¹ Estudiante de Doctorado en el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) – Occidente, Av. Alemania #1626, Col. Moderna, C.P. 44190, Guadalajara, Jalisco, (33) 3810-4628, betyvenegas@gmail.com

Resumen

El objetivo de este trabajo es analizar la participación social dentro de la Gobernanza Ambiental en materia de Residuos Sólidos Urbanos en los municipios de Zapopan y San Pedro Tlaquepaque, estos últimos son parte de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Para la realización de este análisis se utilizó una metodología mixta, se aplicaron 385 encuestas y se hicieron análisis de correlación de Pearson, así mismo se realizó trabajo etnográfico. Las principales variables para este análisis fueron el nivel de marginación, escolaridad, generación de RSU, responsabilidad en materia de gestión de RSU y conocimiento sobre la separación de los RSU. Como resultado se obtuvo que la escolaridad sí tiene una relación significativa con el conocimiento sobre la separación de los RSU y la responsabilidad de los actores, aunque la determinación de esta correlación no es muy alta.

Palabras clave: *Gobernanza, Participación Social, Residuos Sólidos Urbanos.*

1. Introducción

En este documento se analiza específicamente el papel que juega la población dentro de la Gobernanza Ambiental en materia de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en los municipios de Zapopan y San Pedro Tlaquepaque, estos últimos son parte de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG).

Antes de dar inicio con este análisis, es importante resaltar los esfuerzos en materia de Gestión Ambiental que se han realizado en nuestro país por parte del gobierno, especialmente en cuestiones de RSU, ya que estos últimos marcan la pauta sobre los lineamientos, responsabilidades y sanciones que le corresponde a la población en general.

En México, los primeros pasos en materia ambiental se dieron a partir de que se generó la primera ley ambiental en 1971, es decir, estos procesos de protección ambiental se dieron en nuestro país antes que en otros estados de América Latina. Esta fue la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental publicada en el Diario Oficial de la Federación. De acuerdo con Villa [1] esta ley se creó, “en atención a las preocupaciones por la degradación ambiental que provocaban las actividades industriales, comerciales y de servicios”. A partir de esta Ley se generaron tanto la Ley Federal de Protección al Ambiente como la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) [2]. Cabe apuntar que esta última abrió el camino para que surgieran las sucesivas leyes ambientales de nuestro país. En esta línea es preciso señalar que, en el caso específico de la LGEEPA, se designan las obligaciones de los municipios en materia ambiental, entre los cuales destaca la recolección y disposición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), entre otros.

La gestión ambiental a nivel internacional se remonta al informe Brundtland de 1987. Este estudio fue el fruto de los esfuerzos que llevaron a cabo diversos Estados para hacer frente a problemas ambientales por primera vez. De acuerdo con Lipietz [3] las políticas ecologistas en general surgen porque hay problemas, tales como la crisis de escases, distribución, abundancia, alimentaria; del territorio; de la energía; de la biodiversidad, así como de la ecología. Similarmente, estos problemas han conllevado el surgimiento de diversas organizaciones en pro del medio ambiente.

En América Latina la gestión ambiental avanzó de forma notable a partir de la década de los años noventa del siglo pasado, tanto después de haberse celebrado la Conferencia de Río de Janeiro (Brasil) sobre Medio Ambiente y Desarrollo en 1992 como de la aprobación de sus acuerdos. Estos últimos, junto con la Agenda 21 abrieron nuevas y prometedoras perspectivas de acción hacia el desarrollo sustentable. En consecuencia, el proceso de gestión ambiental fue abordado no sólo por los gobiernos nacionales sino también por muchas organizaciones civiles y empresariales, universidades y centros de investigación, así como innumerables gobiernos locales que se fueron involucrando cada vez más [4]. Cabe resaltar, que el involucramiento de los gobiernos locales en estos procesos ha sido de gran importancia en materia ambiental ya que, como han señalado algunas organizaciones, dichos niveles de gobierno son los que se encuentran en contacto directo con la población; por ello, dichas instancias son las que al llevar las pequeñas acciones cumplen, supuestamente, con el axioma actuar localmente, pensar globalmente [5].

México tiene un gran avance en materia del marco legal sobre medio ambiente. En cuestión de RSU, se cuenta con un marco legal muy amplio (ver tabla 1).

Tabla 1. Marco legal sobre RSU en México

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Art. 4° y 115°		
Federal	Estatutal (Estado de Jalisco)	Municipal (Zapopan y Tlaquepaque)
• Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. Última reforma publicada DOF 09-01-2015. • Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003. Última reforma publicada DOF 05-12-2014. • Ley General de Salud. Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de febrero de 1984. Última reforma publicada DOF 04-06-2014.	• Ley de Gobierno y la Administración Pública Municipal. Ley publicada en el Periódico del Estado de Jalisco en el año 2000. • Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Ley Publicada en el Periódico del Estado de Jalisco en el año 1989. • Ley de Gestión Integral de los Residuos del Estado de Jalisco. Ley Publicada en el Periódico del Estado de Jalisco en el año 2011.	• Reglamento para el Manejo de Residuos Sólidos del Municipio de Zapopan, Jalisco. Reglamento publicado en la Gaceta Municipal Vol. XIII No. 40 el 30 de noviembre de 2006. • Reglamento de Protección al Medio Ambiente y Equilibrio Ecológico para el Municipio de Zapopan, Jalisco. Reglamento publicado en la Gaceta Municipal Vol. XVIII No. 138 el 06 de diciembre de 2011. • Reglamento Municipal de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Municipio de San Pedro Tlaquepaque. Publicado en la Gaceta Municipal (s/f).

Fuente: Elaboración propia con base en [2], [6],[7],[8], [9], [10]

Este marco legal y las atribuciones de los gobiernos municipales en materia ambiental deberían conducir, en principio, a un buen proceso de gobernanza ambiental. Con base a los argumentos arriba citados, es que en esta investigación se analiza y explica el papel que juega la sociedad en materia de Gobernanza de los RSU.

El tema de gobernanza se ha vuelto popular en la agenda pública internacional, tanto de los gobierno nacionales como locales [11], [12], [13] la gobernanza alude a un involucramiento de los diferentes actores en la toma de decisiones, la ejecución y la evaluación de las mismas, propuestas políticas, negociaciones y acuerdos, en donde todos los actores juegan un papel esencial [12], [13] [14], [15], [16], [17]. Es por lo anterior que en un proceso de gobernanza no todas las actividades y decisiones deben recaer en el gobierno. En materia de gobernanza de RSU, los gobiernos municipales tienen como facultades el traslado, recolección y disposición de los RSU, pero también la sociedad debe participar para que se puedan lograr

los objetivos de una gestión efectiva de los RSU. Esta participación de la sociedad, como menciona Bernache [18], debe ser en cuestiones tales como el consumo sustentable y la separación de los RSU, ya que el crecimiento de la población y sus hábitos de consumo traen como consecuencia una mayor generación de los residuos.

Para realizar esta investigación se eligió estudiar a dos municipios de Jalisco que integran la ZMG. Estudiar la ZMG en materia de RSU resulta ser importante ya que en esta metrópoli se concentra más del 60% de la población del Estado de Jalisco [19] y continúa en crecimiento. El aumento y la generación de los RSU conllevan a una fragilidad ambiental en el territorio en cuestión, en donde el medio ambiente pierde su capacidad de resiliencia y trae consigo riesgos socio-ambientales. De acuerdo con Venegas, “el mal manejo de los RSU aumenta la proliferación de fauna nociva (plagas, alimañas) y agentes transmisores de enfermedades, lo que se agudiza en épocas cálidas y lluviosas o con deficientes sistemas de provisión de agua potable” [20:47].

Se eligió como área de estudio los municipios de Zapopan y San Pedro Tlaquepaque (Figura 1). Para esta selección se tomaron como características principales el tamaño de la población, las actividades económicas y la forma en que se realiza la gestión de los RSU (Tabla 2).

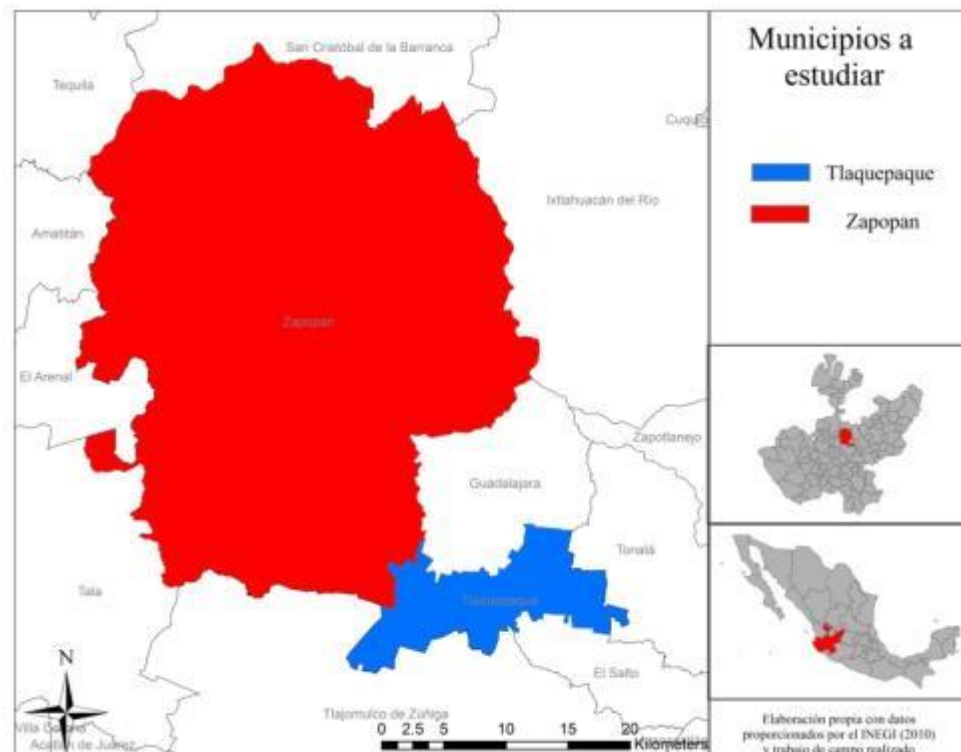


Figura 1. Municipios a estudiar.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI [21]

Actualmente, en México se recolectan cada día un promedio de 86 mil 343 toneladas de RSU, de los cuales el 7.6% son generados en Jalisco [22]. Si bien, Jalisco cuenta con 7,350,682 habitantes, tan sólo en la ZMG viven 4,434,878 habitantes [19]; de acuerdo a Bernache [18], en las zonas urbanas, la generación de RSU por habitante por día es de 1.020gr. En la ZMG se recolectan 3 863 toneladas diarias [23] lo cual es una cifra impresionante. Esta cantidad de residuos, aunada al mal manejo, recolección y disposición final, genera contaminación ambiental la cual afecta al agua, suelo y aire; y por consiguiente afecta a la salud de la población.

Tabla 2. Características de elección de los Municipios de estudio

<i>Municipio</i>	<i>Habitantes al 2010</i>	<i>Actividades económicas</i>	<i>Cantidad de RSU generados kg/día al 2012</i>	<i>Tipo de Gestión materia RSU</i>	<i>Número de unidades de recolección al 2015</i>
Zapopan	1,243,756	Industria manufacturera, el comercio al por menor y servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	1,375,000	Medios propios	226
San Pedro Tlaquepaque	608,114	Industria manufacturera, en especial en cuestiones de elaboración de artesanías de materiales tan diversos como el papel maché, el vidrio, el latón, la alfarería, los hilados, el barro, la piel y la madera.	467,570	Mixta	73

Fuente: Elaboración propia con datos de [19], [24], [25]

2. Metodología

Para esta investigación se aplicó una metodología mixta (cuantitativa y cualitativa), se realizaron encuestas y trabajo etnográfico. Se aplicaron 385 cuestionarios entre los habitantes de los dos municipios. El número de cuestionarios se obtuvo de acuerdo a la fórmula del tamaño de muestra para población finita. Para obtener el tamaño de muestra se eligió a la población entre 18 y 59 años de edad, con un nivel de confianza del 95% y un error del 5%.

Fue un muestreo estratificado por zonas de marginación, se aplicaron 123 cuestionarios en San Pedro Tlaquepaque y 262 cuestionarios en Zapopan. El número de cuestionarios por municipio se basó en la cantidad de habitantes de cada uno, para que la muestra fuera representativa.

Las preguntas del cuestionario contienen los siguientes tipos de información: Conocimiento, opiniones, actitudes, comportamiento y atributos.

Los tipos de preguntas que contiene el cuestionario son cerradas, estas varían ya que se conjugan aquellas de múltiples respuestas (considerado la escala de likert en algunos casos), de dos opciones, de escala de calificación y con la opción de otros o cuál para especificar. Para poder realizar el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (p) a las variables cualitativas se les otorgó un valor numérico, es decir, si=0 y no=1, se realizó el mismo procedimiento con los demás resultados.

Los temas abordados en las encuestas fueron los siguientes:

- Educación ambiental formal
- Separación de RSU
- Cantidad y tipo de residuos generados en los hogares
- Opinión sobre el sistema de recolección
- Limpieza y responsabilidad de la población en cuestiones de manejo de RSU
- Infraestructura para la gestión de los RSU
- Cultura ambiental en materia de RSU
- Conocimiento sobre la contaminación, disposición final e impacto ambiental de los RSU

La aplicación de encuestas se distribuyó de tal forma que abarcaran colonias con los tres grados de marginación (Alto, medio y bajo). A continuación se muestra el mapa con la cantidad de encuestas aplicadas por colonias.

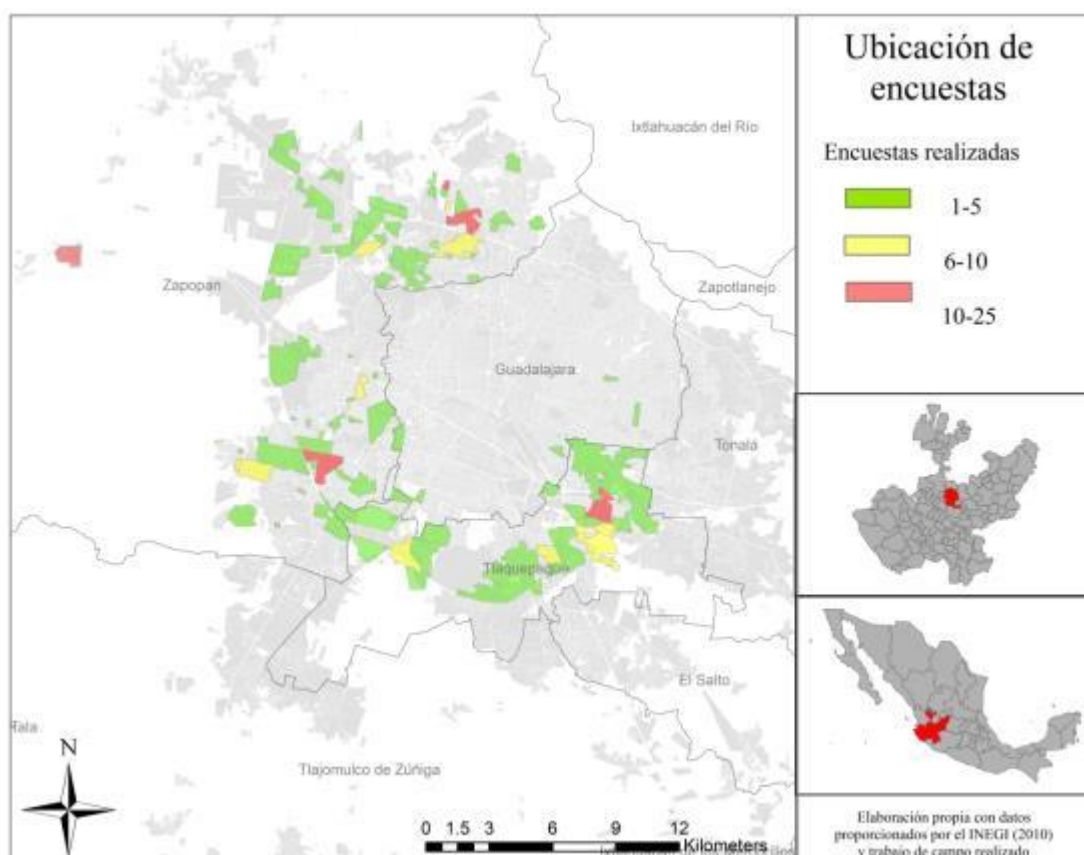


Figura 2. Ubicación de las encuestas realizadas en los municipios de Zapopan y Tlaquepaque.
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos por las encuestas [20] [26]

Para esta investigación se analizaron los temas de: Educación ambiental formal, Separación de RSU y Limpieza y responsabilidad de los actores en cuestiones residuos. Para analizar los datos se utilizó el análisis de correlación de p , este se realizó en el software estadístico SPSS, con este análisis se pretendió responder a las siguientes Hipótesis:

- H_{i1} : A mayor nivel de escolaridad, mayor el conocimiento sobre la separación de RSU.
- H_{o1} : A mayor nivel de escolaridad, no hay mayor el conocimiento sobre la separación de RSU.
- H_{i2} : A mayor nivel de escolaridad, menor generación de RSU.
- H_{o2} : A mayor nivel de escolaridad, no existe menor generación de RSU.
- H_{i3} : A menor nivel de marginación, mayor la cantidad de generación de RSU.
- H_{o3} : A menor nivel de marginación, no hay mayor la cantidad de generación de RSU.
- H_{i4} : A mayor nivel de escolaridad, mayor conocimiento sobre las responsabilidades en la gestión de los RSU.
- H_{o4} : A mayor nivel de escolaridad, no hay mayor conocimiento sobre las responsabilidades en la gestión de los RSU.

En la realización de trabajo etnográfico, se realizó recorrido de campo en los municipios, entrevistas con los recolectores y directivos de los ayuntamientos municipales, y pláticas informales con la población.

3. Resultados

Los resultados se presentarán en orden a las hipótesis anteriores.

- H_{11} : A mayor nivel de escolaridad, mayor el conocimiento sobre la separación de RSU (ver tabla 3).

Tabla 3. Análisis de correlación entre el nivel de escolaridad y el conocimiento sobre la separación de RSU.

CONOCIMIENTO SOBRE SEPARACIÓN DE RESIDUOS	ANÁLISIS	ESCOLARIDAD
SEPARA_CASA	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	.226** 0
CONOCE_BASURA_SEPARA	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	-.211** 0
HA_SEPARA_BASURA	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	-.368** 0
Q_RES_COMIDA	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.036 0.48
COMPOSTA	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	-.238** 0
HOJAS_RAMAS	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.072 0.162
SEPARAR_VENDER	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	-.209** 0

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de [26]

Las variables que se presentan en la Tabla 3 dentro de la categoría de conocimiento sobre la separación de RSU, respectivamente son: Separación de la basura en casa; Conocimiento sobre el tipo de basura que se puede separar; ¿Alguna vez ha separado la basura?; ¿Qué hace con los residuos de comida?; ¿Ha preparado alguna vez composta?; ¿Qué hace con las hojas o ramas que se generan en su casa?; ¿Sabía usted que puede separar algunos materiales de sus residuos y venderlos? Como se mencionó anteriormente, a las respuestas cualitativas se les otorgó un valor numérico para llevar a cabo la correlación p .

De acuerdo a los resultados se puede observar que aquellas variables que tuvieron el Sig. (2-tailed) menor a 0.01 y 0.05 sí están relacionadas con el nivel de escolaridad aunque la correlación de p sea baja y negativa. En el caso de las variables sobre el conocimiento acerca de los residuos de comida y los residuos de hojas o ramas no tienen relación ni significancia con el nivel de Escolaridad.

- H_{12} : A mayor nivel de escolaridad, menor generación de RSU.

Tabla 4. Análisis de correlación entre el nivel de escolaridad y la cantidad de RSU generados por colonia ton/día.

TONELADAS DE RSU/DÍA/COLONIA	ANÁLISIS	ESCOLARIDAD
TON_RES_DIA	Pearson Correlation	0.036
	Sig. (2-tailed)	0.488

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de [26]

En la Tabla 4 se puede observar que no existe relación entre el nivel de escolaridad y las toneladas generadas de RSU por día por colonia, por lo que se acepta la H_{02} : A mayor nivel de escolaridad, no existe menor generación de RSU.

- H_{i3} : A menor nivel de marginación, mayor la cantidad de generación de RSU.

Tabla 5. Análisis de correlación entre el nivel de marginación y la cantidad de RSU generados

TONELADAS DE RSU/DÍA/COLONIA	ANÁLISIS	NIVEL DE MARGINACIÓN
TON_RES_DIA	Pearson Correlation	-0.023
	Sig. (2-tailed)	0.65

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de [26]

En Tabla 5 p muy baja y es negativa, por lo que al bajar el nivel de marginación se incrementa la producción de RSU.

- H_{i4} : A mayor nivel de escolaridad, mayor conocimiento sobre las responsabilidades en la gestión de los RSU.

En los resultados de la tabla 6, se puede observar que aquellas variables que tuvieron el Sig. (2-tailed) menor a 0.01 y 0.05 sí están relacionadas con el nivel de escolaridad aunque la correlación de p no sea tan alta. En el caso de las variables sobre el horario en el que la gente saca la basura y la imagen de la colonia no tiene relación.

De acuerdo a los resultados presentados anteriormente, se puede observar que las toneladas de RSU generadas por día por colonia, tienen una relación negativa con el nivel de marginación por lo que a menor nivel de marginación existe mayor generación de RSU, así mismo el nivel de escolaridad presentó una correlación de p baja y positiva, por lo que se podría interpretar que a mayor nivel de escolaridad mayor cantidad de RSU, aunado a los datos cuantitativos y de acuerdo al trabajo etnográfico realizado, la composición de los residuos llega a ser diferente debido a los diversos hábitos de consumo y en las zonas con menor nivel de marginación se genera mayor cantidad de plásticos, latas y cartón.

Sin embargo, aunque la correlación no sea tan fuerte pero la relación es significativa, el nivel de escolaridad sí está relacionado con el conocimiento sobre la separación de RSU y las responsabilidades de los actores. Cabe resaltar que en cuestiones del conocimiento sobre la separación de RSU, en el caso de las hojas y ramas, se ha tenido un problema constante con el Ayuntamiento, debido a “que la gente no sabe lo que se puede o no llevar el camión y se enojan si no nos llevamos las ramas” [27].

Tabla 6. Análisis de correlación entre el nivel de escolaridad y la cantidad de RSU generados

CONOCIMIENTO SOBRE RESPONSABILIDADES EN MATERIA DE RSU	ANÁLISIS	ESCOLARIDAD
QUIÉN_BARRER_BANQU	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	-.247** 0
BAS_MÑ_NOCH	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	-0.081 0.114
VEC_ACUMUL_ESQ	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	.154** 0.002
COL_LOMP	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	-.114* 0.025
IMAGEN	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	-0.083 0.105

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de [26]

Sobre la responsabilidad de los actores, es muy frecuente que la gente saque la basura desde antes que pase el camión o en las noches, por lo que esto llega a generar molestias por parte de la misma población e incluso levantan quejas en el ayuntamiento si ven que aún no se llevan la basura, aunque la población misma genera el problema.

A manera general, se puede observar que el nivel de escolaridad sí tiene relación en cuanto a capacitaciones sobre los RSU y sobre la responsabilidad de los actores, aunque la determinación no sea muy alta. Se podría esperar que en una sociedad en la cual el nivel de escolaridad es alto, el grado de concientización sobre el manejo de los RSU sea mayor, aún no hemos llegado a este punto en estos municipios.

Cabe reconocer que los ayuntamientos (en específico el de Zapopan y Tlaquepaque), trabajan al día para la recolección de los RSU, sin embargo no existe un trabajo conjunto entre el ayuntamiento y la sociedad; los recolectores de Tlaquepaque y algunos habitantes de Zapopan mencionaron que aunque se hicieron esfuerzos en gobiernos anteriores por separar los RSU, la gente quedó decepcionada dado que no tenían el equipo de trabajo adecuado y al final se revolvía toda la basura. En la dirección de Aseo Público de Tlaquepaque se tienen contenedores (6 a la vista) los cuales utilizaron para aquellas campañas y que ahora se encuentran arrumbados.

Así mismo, en el Estado de Jalisco se tiene en vigor la norma NAE-SEMADES-007/2008, en la cual se menciona que es obligación de toda persona física el separar los residuos generados, los cuales deben hacer una separación primaria. Si bien esta norma entró en vigor en el 2008 los habitantes de los municipios estudiados no realizan esta actividad, las encuestas arrojaron que la falta de separación de los RSU se debe a que no han tenido capacitaciones en materia de separación de residuos y a que no confían en que el camión se lleve la basura separada.

4. Conclusiones

De acuerdo a lo presentado anteriormente, se puede observar que no existe un trabajo en conjunto entre los habitantes y el ayuntamiento, así mismo, las prácticas de disposición de los RSU por parte de los habitantes de los municipios estudiados aún dejan mucho que desear. Si bien existen conocimientos sobre la separación de RSU, aún falta mucho para que esto se lleve a cabo en los municipios mexicanos. Al parecer, y de acuerdo al trabajo etnográfico, la gente se olvida de su basura al momento en el que pasa el camión.

Los hábitos de consumo son un factor importante en la generación de RSU, y esto aún no se ha podido controlar. Así mismo, los ayuntamientos no cuentan con estrategias de capacitación y concientización para

la población, por lo que en su período de gobierno sólo se dedican a la recolección, dejando a un lado las campañas de Educación Ambiental.

5. Referencias

- [1] Villa Aguilar, A. y Sánchez Ruíz, J. (2007) *Memoria cronológica de la regulación industrial directa en materia de contaminación ambiental*. México: INE. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetitas/276/regind.html>.
- [2] Diario Oficial de la Federación (2015) *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. Última reforma publicada DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN 09-01-2015.
- [3] Lipietz, A. (2011) “*La ecología política y la crisis actual*” conferencia ministerio de ecología de Paraguay.
- [4] Guimarães, R. y Bárcena, A. (2002). El desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe Desde Río 1992 y los nuevos imperativos de institucionalidad. En E. Leff, E. Ezcurra y I. Pisanty (Comp.), *La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe* (pp. 15–34). México: INE-SEMARNAT, UAM, PNUMA.
- [5] United Nations. (1992). *Agenda 21: Programme of Action for Sustainable Development*. New York: United Nations.
- [6] Congreso del Estado de Jalisco (2015) *Ley de Gobierno y la Administración Pública Municipal*. Ley publicada en el Periódico del Estado de Jalisco en el año 2000.
- [7] Congreso del Estado de Jalisco (2015) *Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*. Ley Publicada en el Periódico del Estado de Jalisco en el año 1989.
- [8] Congreso del Estado de Jalisco (2015) *Ley de Gestión Integral de los Residuos del Estado de Jalisco*. Ley Publicada en el Periódico del Estado de Jalisco en el año 2011.
- [9] Ayuntamiento de San Pedro Tlaquepaque (2015) *Reglamento Municipal de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Municipio de San Pedro Tlaquepaque*. Publicado en la Gaceta Municipal (s/f).
- [10] Ayuntamiento de Zapopan (2015) *Reglamento para el Manejo de Residuos Sólidos del Municipio de Zapopan, Jalisco*. Reglamento publicado en la Gaceta Municipal Vol. XIII No. 40 el 30 de noviembre de 2006.
- [11] Natera Peral, A. (2004). *La noción de gobernanza como gestión pública participativa y reticular*. Universidad Carlos III de Madrid: Madrid.
- [12] Whittingham, M. A.(2005). Aportes de la teoría y la praxis para la nueva gobernanza. *Revista Reforma y Democracia*. CLAD, (3).
- [13] Aguilar Villanueva, L.F. (2010). *Gobernanza: El nuevo proceso de gobernar*. Fundación Friedrich Naumann para la Libertad.
- [14] Stoker, G. (1998). Governance as theory: five propositions. *International social science journal*, 50(155), 17-28.
- [15] Grindle, M. S. (1997). The good government imperative: human resources, organizations, and institutions. En M. S. Grindle (Ed.), *Getting Good Government. Capacity Building in the public sector of developing countries* (pp. 3-29). Oxford: Harvard University Press.
- [16] Jorquera Beas, D. (2011). Gobernanza para el desarrollo local. *Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural*. Rimisp Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural Programa Conocimiento y Cambio en Pobreza Rural y Desarrollo: Santiago, Chile.
- [17] Molas-Gallart, J. (2012). Research Governance and the Role of Evaluation A Comparative Study. *American Journal of Evaluation*, 33(4), 583-598.
- [18] Bernache Pérez, G. (2011) *Cuando la Basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental*. CIESAS-Occidente, Universidad de Guadalajara.
- [19] INEGI (2010) *Censo de Población y Vivienda 2010*. Consultado el 23 de septiembre del 2014, disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

- [20] Venegas Sahagún, B.A. (2012) *Capacidad de los gobiernos municipales para la gestión de la salud ambiental. El caso del Programa "Sistema Intermunicipal de Manejo de Residuos-Sureste"*. Tesis de maestría para obtener el título de Maestra en Ciencias de la Salud Ambiental, Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- [21] INEGI (2010b) *Cartografía Geoestadística Urbana 2010*. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&upc=0&s=est&tg=3604&f=2&cl=0&pf=prod&ef=0&ct=201100000&pg=2>
- [22] INEGI (2013) Estadística básica sobre medio ambiente. *Boletín de Prensa núm. 121/13*. Aguascalientes: INEGI.
- [23] INEGI (2015) Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Módulo 6 Residuos Sólidos Urbanos. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb1354&s=est&c=35721>
- [24] Ayuntamiento de Zapopan (2015) *Oficio de transparencia 531 0/201:5/040C'S*. Ayuntamiento de Zapopan: Oficina de Transparencia.
- [25] Ayuntamiento de Tlaquepaque (2015) *Oficio de transparencia 2211/2015*. Ayuntamiento de Tlaquepaque: Oficina de Transparencia.
- [26] Encuesta La Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos. ¿Un modelo de gobernanza sustentable para la sociedad? El caso de dos municipios de la Zona Metropolitana de Guadalajara (2016) [Archivo de datos]. Guadalajara, Jalisco: Venegas Sahagún, B.A.
- [27] Recolector Tlaquepaque (2016). Comunicación personal, entrevista realizada el 07 de abril del 2016.

Situación y prospectiva de los Residuos Sólidos Urbanos en Texcoco, Estado de México.

Gonzalo Abelino Torres, Aníbal G. Quispe Limaylla

Colegio de Postgraduados. Carretera México – Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, 56230. Tel. (55) 55-07-42-51

Email: abelino.gonzalo@colpos.mx

Resumen

En esta investigación se realizó un diagnóstico en Texcoco, Estado de México para identificar el sistema de reciclaje de residuos sólidos urbanos (RSU) que puede ser implementado. La técnica utilizada para la obtención de datos fue una encuesta personal, la cual se aplicó a cada jefe (a) de hogar. De igual forma, una muestra aleatoria simple de 397 hogares fue realizada para seleccionar a los encuestados, a los que se les hicieron preguntas abiertas, con formato múltiple y dicotómico. Con base a los resultados obtenidos, la mayoría de los pobladores del Municipio de Texcoco perciben el problema del manejo de los RSU como grave y muy grave, y más de la mitad conoce muy poco sobre el reciclaje; de igual forma, casi el total de éstos consideran desde necesario a muy necesario el establecimiento de un sistema de reciclaje. Asimismo, más de la mitad de la población está dispuesta a aceptar un sistema de reciclaje basado en alguna cuota monetaria.

Palabras clave: *diagnóstico, sistema de reciclaje, residuos sólidos municipales, encuesta personal.*

Introducción

En México, la Política Ambiental en materia de residuos está basada en los principios de reducción, valorización y responsabilidad compartida, así como en la prevención y gestión integral de los residuos, que incluye entre otras cosas finanzas sanas, para lograr un servicio sustentable; educación ambiental, para integrar la participación de la sociedad; comunicación social adecuada, para conocer los beneficios de esta gestión; y un marco legal que permita construir un país en orden [1]

La Federación (SEMARNAT), los estados y los municipios tienen la responsabilidad de ejercer sus atribuciones en materia de la generación de residuos, su aprovechamiento, gestión integral, prevención de contaminación de sitios y su remediación. La primera expide los reglamentos, normas oficiales mexicanas y demás disposiciones jurídicas para regular el manejo integral de los RSU; los segundos promueven la creación de infraestructura para su manejo integral; los últimos tienen las funciones de manejo integral, que consiste en la recolección, traslado, tratamiento y su disposición final [2]. No obstante, aún no se cuenta con suficientes reglamentos en aspectos como la generación de residuos sólidos y artículos relacionados con la prevención de la contaminación [3].

De acuerdo a [4], del total de RSU generados en México a nivel nacional, 67% se envía a rellenos sanitarios, 20% a los tiraderos de cielo abierto, 8% a rellenos de tierra controlados, y 5% es reciclado. [5] menciona que del total de residuos sólidos urbanos generados, los residuos orgánicos oscilan en un intervalo de 28 y 43%; así también, comenta que de los residuos inorgánicos se puede aprovechar entre 33 y 44%, dependiendo este porcentaje del número de habitantes por municipio.

En toda la República Mexicana se generan 103 mil toneladas de RSU, y el Estado de México ocupa el segundo lugar en la generación, (13 mil toneladas diarias; es decir 12.6% del total nacional) siendo superado únicamente por el Distrito Federal con 16 mil toneladas [6].

Texcoco es uno de los municipios del Estado de México que ha tenido problemas con la disposición final de los RSU desde el año 2009, después de que se anunció el cierre del basurero Bordo Xochiaca, lugar donde depositaba sus RSU [7]. En el año 2012 la basura era el tercer problema más prioritario del municipio debido a los altos costos económicos y sociales que representaba su disposición final [8]. Los RSU que se

generan en Texcoco suman un poco más de 98 toneladas por día; es decir, 0.4 kg de basura per cápita diariamente [6].

En la actualidad, el Municipio de Texcoco envía sus RSU a un centro de disposición final ubicado en San Vicente Chicoloapan. Ello ocasiona que se eleven los costos de transporte. Además, se debe pagar una cuota por tonelada de RSU que se deposita en los rellenos sanitarios, aunado a los costos de mantenimiento y reparación de los vehículos recolectores. Los funcionarios del Municipio de Texcoco propusieron un lugar conocido como Las Minas para la disposición final de los RSU; sin embargo, los lugareños no han permitido que se lleve a cabo tal propuesta, debido a que en el año 2010 se permitió rellenar ese sitio con lodos contaminantes, lo cual provocó el descontento de los pobladores de ese lugar [9].

En el Municipio de Texcoco no se cuenta con algún programa de reciclaje, reglamento o norma que regule la separación de basura desde los hogares. Si bien, existe separación de algunos materiales inorgánicos, ésta se presenta de manera informal, durante la recolección o el confinamiento final. La separación de materiales se hace para venderlos, principalmente pet, aluminio, cartón, cobre y fierro. Esta actividad se dificulta debido a que la mayoría de la población, tanto urbana como rural, no separa sus RSU desde los hogares. De igual forma, la flotilla de vehículos del municipio es insuficiente; además, falta espacio para depositar la basura que se genera [10]- [11].

De acuerdo a entrevistas realizadas a los ciudadanos, algunas personas que viven en los lugares más alejados del centro se quejan de que el servicio de recolección de los RSU solo pasa en raras ocasiones, por lo que tienen que pagar una cuota de hasta 40 pesos semanales al servicio privado. Dada esta situación, algunas familias tienen que llevar su basura desde sus hogares hasta el centro del Municipio. [10] Menciona que esto ocasiona que algunas familias tiren su basura en los barrancos, zanjas o ríos, o simplemente la queman al aire libre.

Por lo antes expuesto, esta investigación tuvo como objetivo general analizar la situación actual de los residuos sólidos municipales de Texcoco a través de una encuesta personal para determinar la aceptación social de un sistema de reciclaje basado en una cuota monetaria. Las hipótesis de las cuales partió esta investigación fueron:

- ✓ Las mujeres tienden a separar más los RSU que los hombres
- ✓ La separación de RSU está relacionada con el nivel educativo tradicional.
- ✓ La separación de los RSU y el reciclaje son actividades sociales, por lo que el tener un amigo que realice estas actividades incrementa la posibilidad de separar o de reciclar.

Metodología/Desarrollo

Los hogares del área metropolitana de Texcoco no están divididos en estratos según el nivel de ingreso o rango social de los residentes, por lo que para llevar a cabo este estudio se realizó un muestreo aleatorio simple. En el municipio de Texcoco [12] se registró un total de 55,080 hogares.

En el muestreo aleatorio simple el tamaño de muestra que se requiere para estimar la media poblacional u, dada una cota B para el error de estimación es la siguiente:

$$n = \frac{Nz^2 pq}{ND^2 + Z^2 pq} \text{ con } D = \frac{B^2}{4} \quad (1)$$

Donde N es el número de elementos de la población, y B es la cota para el error de estimación, el cual fue de 0.05 (5%) para este caso. Cuando se desconoce el valor de p se asigna el valor de 0.5; q se obtiene restando la unidad al valor de p ($q = 1-p$), resultando una muestra con varianza máxima. La muestra final resultó ser de 397 [13].

Resultados y discusión

Más de la mitad de los jefes (as) de hogares tienen edades de 26 a 45 años. Asimismo, gran parte de éstos (32 %) tienen estudios de preparatoria. Con respecto al nivel de ingreso, la mayoría (82%) obtiene ingresos de menos de siete mil pesos mensuales. Por otra parte, 59% de la población está dispuesta a aceptar un sistema de reciclaje basado en una cuota monetaria.

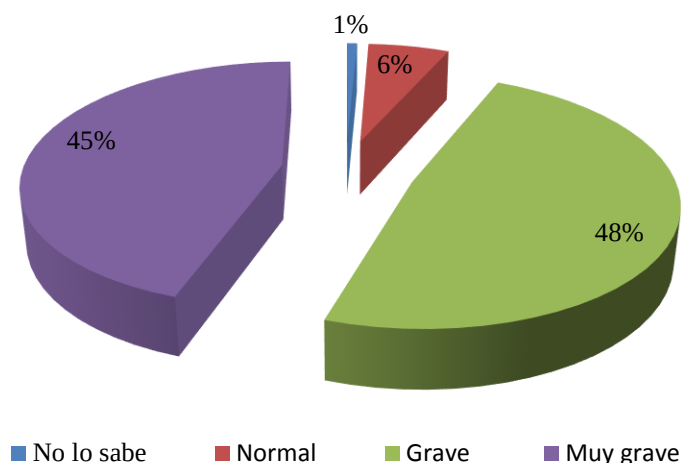


Figura 1. Opinión de los entrevistados sobre el problema de la basura
Fuente: Elaboración propia

En la figura 1 se muestra que la población del municipio de Texcoco está consciente de lo que implica el problema de la basura, ya que más del 90% de la población considera el problema entre grave y muy grave.

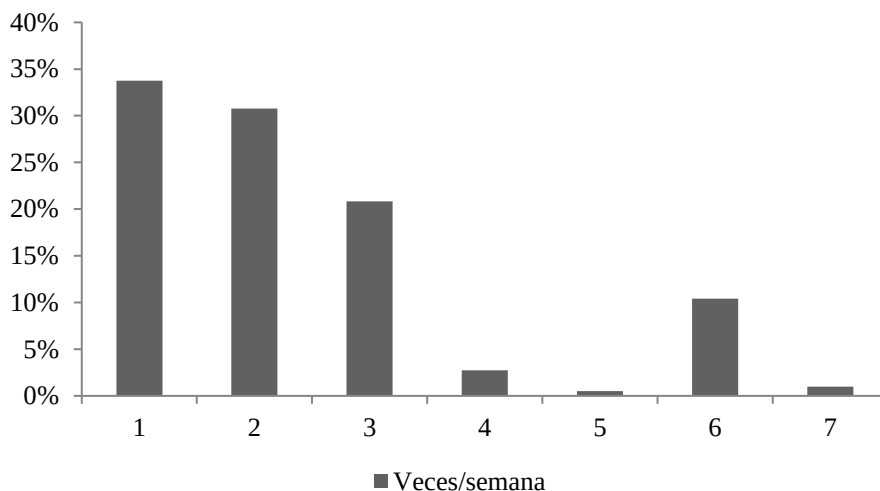


Figura 2. Frecuencia semanal de la población para tirar su basura
Fuente: Elaboración propia

En la figura 2 se puede observar la frecuencia semanal para tirar la basura, la cual es de 1 a 2 veces por semana. Cabe mencionar que la frecuencia normal es de 2 a 3 veces; sin embargo, en la mayoría de los lugares alejados del centro el servicio de recolección de limpia pública pasa solamente 1 vez por semana.

A partir de los datos analizados se estimó que en Texcoco se generan 0.55 kilogramos de basura por habitante al día, resultando un total de 116 toneladas diarias en todo el municipio; de éstas, 29% corresponde

a materia orgánica, 34% a material reciclable como vidrio, cartón, papel, plástico, aluminio, entre otros y 37% corresponde a material no reciclable.

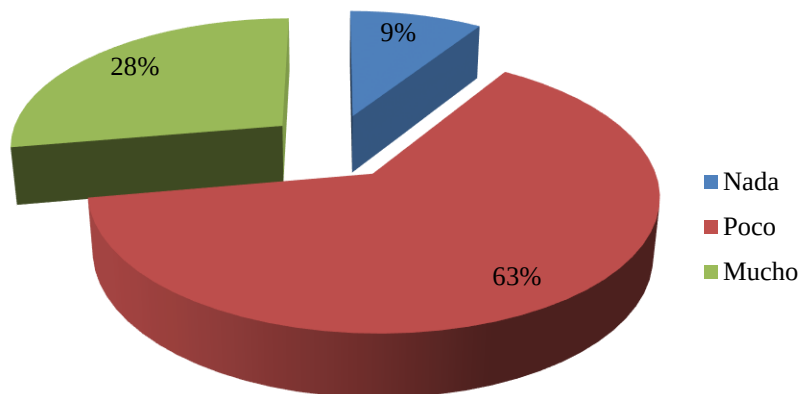


Figura 3. Conocimiento de la población sobre el reciclaje

Fuente: Elaboración propia

La figura 3 muestra la falta que hace impartir campañas con respecto al reciclaje, ya que más del 70% de la población conoce poco o nada de esta actividad. Cabe mencionar que algunas personas del servicio de limpia pública argumentan que ya se han realizado algunos intentos por parte del municipio por dar a conocer el reciclaje; sin embargo, al no darle secuencia a dicha actividad, y al no coordinarse esfuerzos con las instituciones y la población, esta actividad resulta inútil.

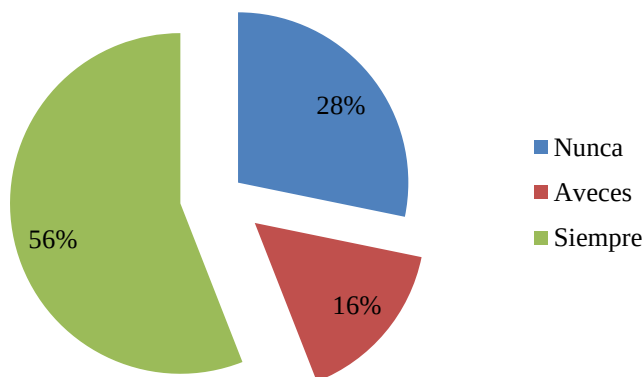


Figura 4. Participación de la población en la separación de la basura antes de entregarla al servicio de limpia.

Fuente: Elaboración propia

La figura 4 muestra la forma en que participan las familias ante el problema del manejo de los RSU. Como puede observarse, casi el 70% colabora de alguna u otra forma; y en la figura 5 se pueden observar las causas principales del por qué no se lleva a cabo esta actividad en las personas que no aceptaron el pago para que se implemente un sistema de reciclaje.

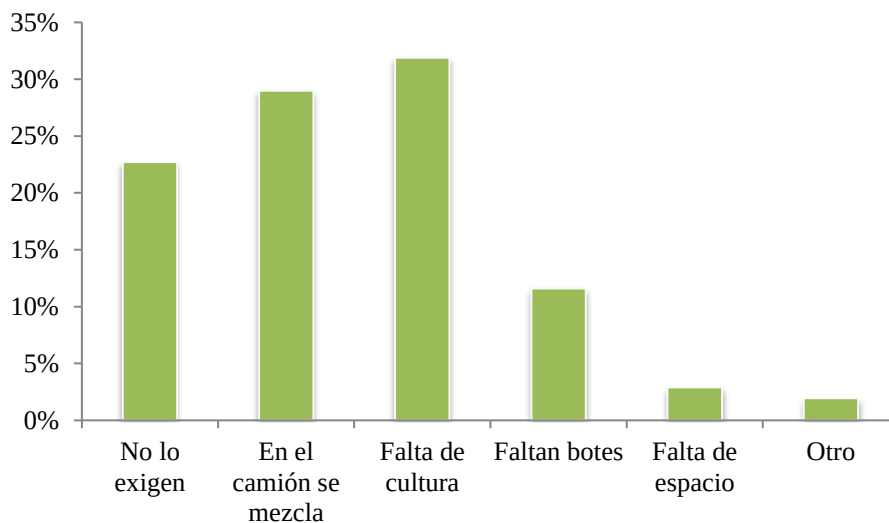


Figura 5. Razones principales por las que no se separa la basura en el hogar

Fuente: Elaboración propia

El analizar esta gráfica conlleva a la conclusión de que se requieren campañas de reciclaje y de separación de desechos urbanos en la cual se involucren gobierno municipal, sociedad e instituciones, ya sea mediante la implementación de nuevas leyes y normas o mediante la educación ambiental en las escuelas. Es importante señalar que algunas escuelas ya están colaborando con el cuidado del medio ambiente mediante el acopio de botellas de pet, las cuales son solicitadas a los padres de familia o a los propios alumnos.

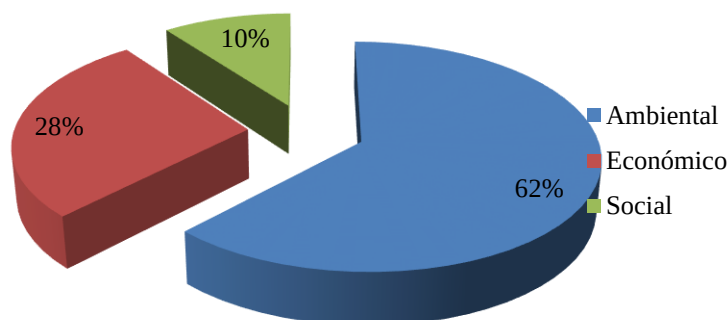


Figura 6 Conocimiento de algún tipo de beneficio por reciclar.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se puede apreciar que gran parte de los entrevistados conoce algún beneficio ambiental por reciclar; sin embargo, la mayoría de ellos no sabe cómo implementarlo o llevarlo a cabo. Por ejemplo, algunas personas mencionan la necesidad de tratar los residuos orgánicos en el hogar, pero no conocen la forma de hacerlo o solo tienen una vaga idea de ello. Lo mismo pasa con materiales como el papel, el pet y el cartón, ya que no existen centros de acopio que sean conocidos por los habitantes.

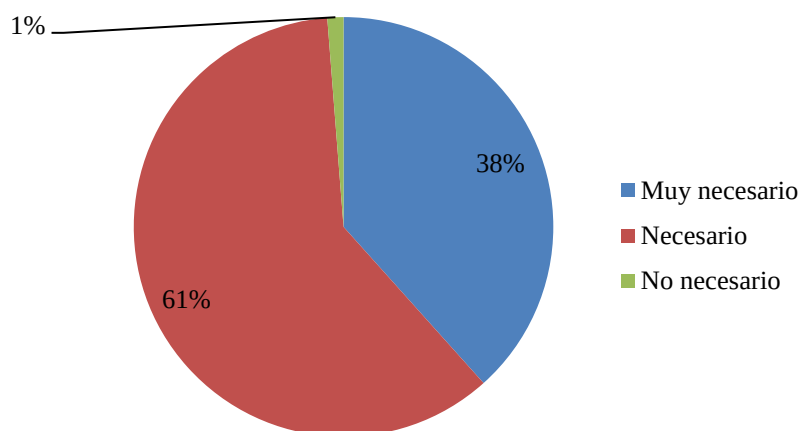


Figura 7. Percepción de la población sobre la implementación de un sistema de reciclaje.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se muestra la percepción ambiental de las personas con respecto al reciclaje. Como puede observarse, casi el 100% está consciente de ello. Una de las causas de esta preocupación es la cercanía del Bordo Poniente, localizado en el Ex lago Texcoco. Este relleno sanitario dejó de operar en el año 2011; sin embargo, debido a su dimensión y cercanía aún genera externalidades negativas tales como: malos olores, deterioro del paisaje, generación de lixiviados, generación de biogás, entre otros. En cuanto a la disposición a pagar, el 59% del total de los entrevistados estuvo de acuerdo en aceptar el precio propuesto por una mejora en la calidad ambiental con respecto al problema de la basura.

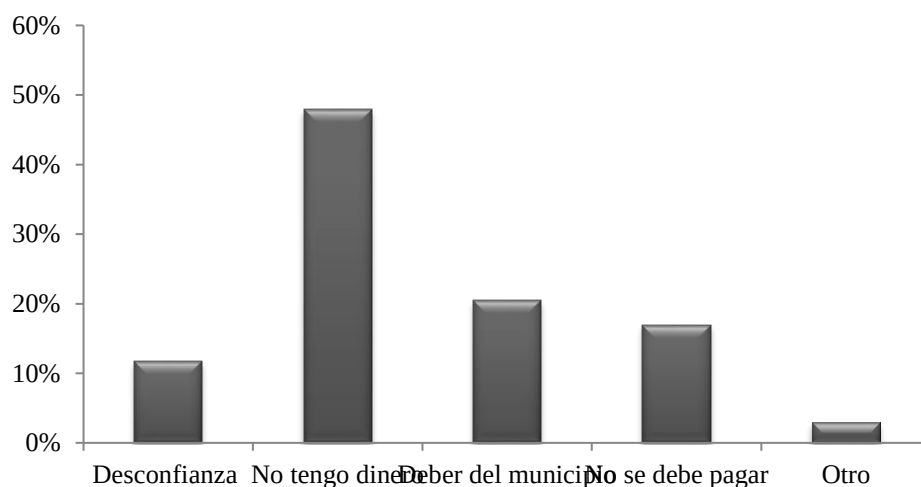


Figura 8. Razones por las que los entrevistados no están dispuestos a pagar.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se muestran las causas del resto de los entrevistados (41%) por las que no se está dispuesto a pagar. El no tener dinero es la causa principal por la que no pagarían los jefes de familia, y esto se comprueba con el porcentaje de la población (más del 80%) que gana menos de \$7,000 mensuales (Figura 10). La segunda causa principal por no aceptar el sistema de reciclaje es porque se argumenta que la recolección de los RSU es deber del municipio, deduciéndose entonces que el sistema de reciclaje adecuado sería el pago de un precio basado en la unidad con la opción de diseño sistema híbrido; en este sistema existe una combinación de recolección de RSU por parte del municipio y el cobro por exceder cierto volumen de éstos.

El sistema de un pago de precio basado en la unidad o cantidad (UBP, por sus siglas en inglés), también conocido como tasa de precio variable, pago del usuario, o pago de acuerdo a lo que se tira, es un sistema en el cual la población paga por el servicio municipal de recolección de RSU por unidad o cantidad que se recolecta, en vez de pagar una cuota fija o un impuesto [14].

Este método es similar a otros servicios por los que se cobra. Por ejemplo, al igual que el pago por agua o electricidad, el cual se basa en la cantidad consumida del servicio, con el sistema de precio basado en la cantidad se le cobra a las familias por el servicio de recolección y disposición de los RSU con base a la cantidad generada; así, quien genera más RSU, paga más. Dado que los servicios de manejo de residuos se cobran adecuadamente, las familias se ven obligadas a pagar lo menos posible, por lo que buscan alternativas para reducir sus residuos desde el origen (evitar envolturas innecesarias) o mediante el reciclaje.

Opciones de diseño del sistema basado en la unidad o cantidad:

Bolsa prepago: las familias adquieren bolsas oficiales y estandarizadas en el ayuntamiento o en tiendas detallistas para depositar su basura; por éstas pagan cierta cantidad. Estas bolsas tienen capacidad de entre 75.7 y 113.6 litros. Solamente se recogen los desechos domiciliarios que se encuentren en este tipo de bolsas.

Etiqueta prepago: Las familias compran etiquetas oficiales o stickers en el municipio o en tiendas detallistas, con los que se tiene derecho a un contenedor de medida especificada en la etiqueta. Solamente se recogen los RSU de los contenedores etiquetados.

Sistema de subscripción: Las familias firman por un periodo de pago para que les recojan sus RSU de contenedores de medida y cantidad especificados. El cobro se basa en la cantidad de servicio que se escoja, costando más los servicios que permiten coleccionar más residuos. Una vez rebasado el nivel del servicio que se contrata se requiere adquirir etiquetas, bolsas o stickers.

Sistema basado en el peso: Las familias pagan una cuota fija por kilogramo de residuos contenidos en los contenedores designados. La basura se pesa a la hora de la entrega o colecta.

Sistema híbrido: un sistema híbrido combina una cuota estándar con alguna forma de cuota por unidad. Los municipios que cuentan con este servicio ofrecen un nivel de servicio básico de recolección; por ejemplo una unidad de basura (un contenedor). Si los residuos sobrepasan este límite, se deberá adquirir algunos de los sistemas anteriores tal como etiquetas, bolsas o stickers (<http://www.iowadnr.gov>).

Del total de personas que no estuvieron dispuestos a aceptar el sistema de reciclaje solo un 17% argumenta que no se debe pagar por el servicio de recolección de RSU, ya que éste es un negocio. En otras razones se tiene falta de espacio o porque son pocos residuos los que se tiran.

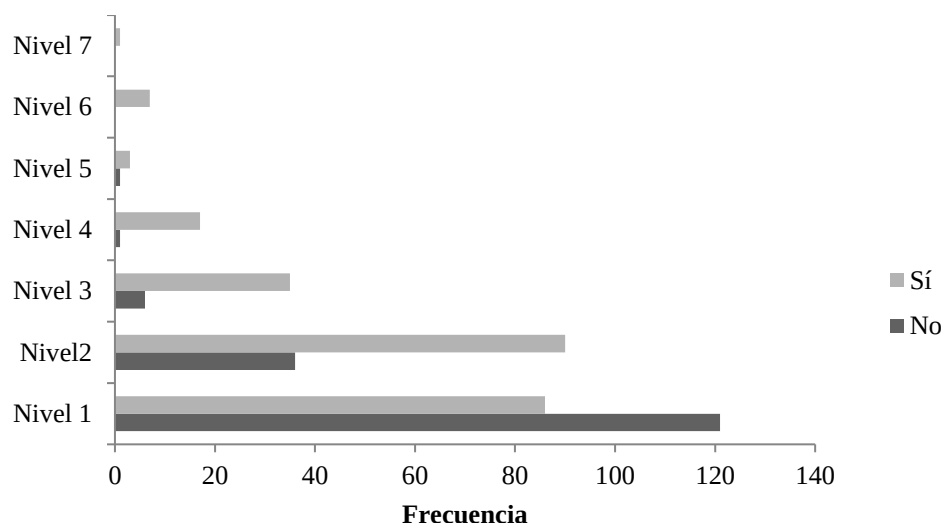


Figura 911. Frecuencia de respuestas afirmativas y negativas de los entrevistados en base al ingreso.
Fuente: Elaboración propia

En la figura 9 se muestra la frecuencia de los entrevistados que respondieron afirmativa y negativamente con respecto a aceptar el sistema de reciclaje. Ingresos de menos de 4,000 pesos mensuales corresponde al nivel 1, de 4,001 a 7,000 para el nivel 2, de 7, 001 a 10,000 para el nivel 3, de 10, 001 a 15, 000 para el nivel 4, de 15, 001 a 20, 000 para el nivel 5, de 20, 001 a 25, 000 para el nivel 6 y más de 25, 000 para el nivel 7.

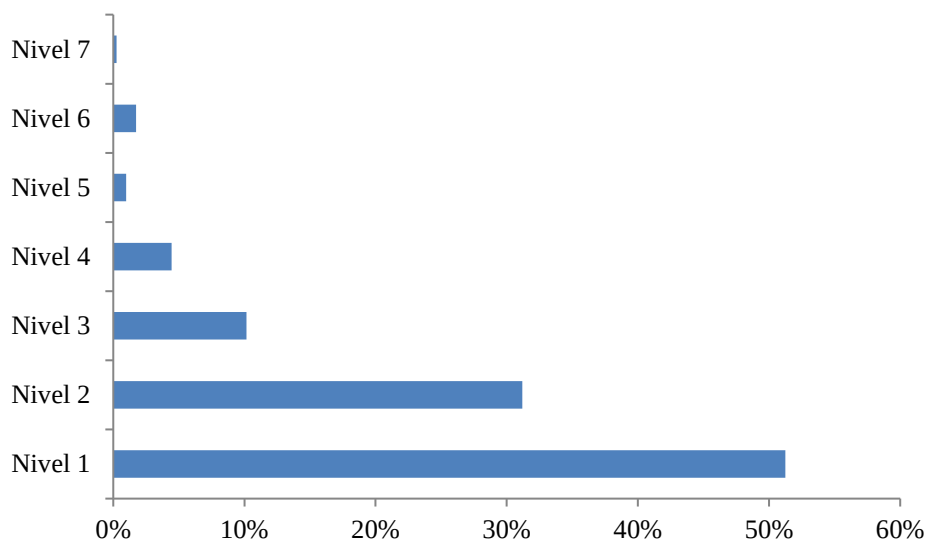


Figura 1012. Niveles de ingresos de la población de Texcoco
Fuente: Elaboración propia

En la figura 10 se observa que más del 80% de la población de Texcoco obtiene ingresos de menos de 7,000 pesos al mes.

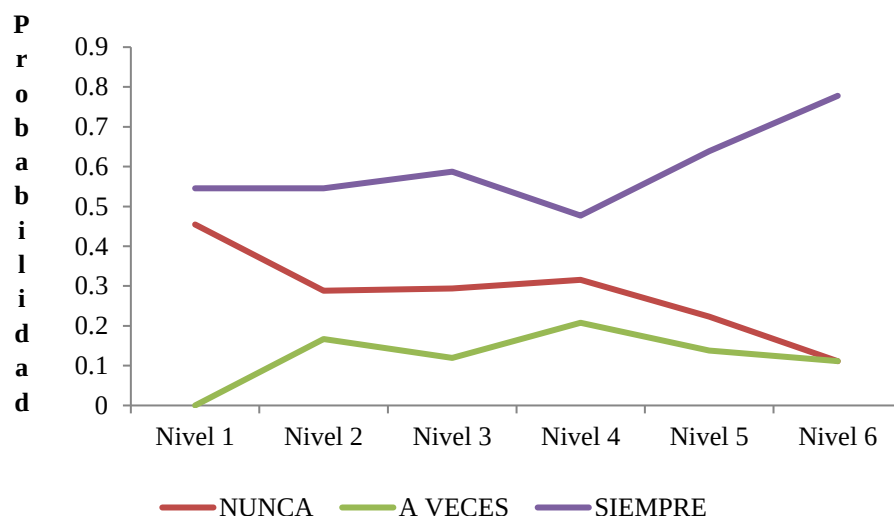


Figura 11. Probabilidades de separar la basura con respecto al nivel de estudios
Fuente: elaboración propia

La figura 11 muestra la relación que existe entre separar la basura (nunca, a veces, siempre) y el nivel de estudios. El nivel 1 corresponde a sin estudios, el nivel 2 a primaria, el nivel 3 a secundaria, el nivel 4 a preparatoria, el nivel 5 a licenciatura y el nivel 6 a posgrado.

Tabla 12. Probabilidades condicionales a aceptar un sistema de reciclaje dependiendo del género

Sexo	Respuesta a aceptar un sistema de reciclaje	
	No	Si
Hombres	0.47	0.53
Mujeres	0.37	0.63

Fuente: elaboración propia

La tabla 1 muestra la probabilidad a aceptar un sistema de reciclaje basado en una cuota monetaria con base al género. Las mujeres tienen mayor probabilidad a aceptar dicho sistema que los hombres.

Tabla 1. Probabilidades condicionales a separar la basura dependiendo de si se tiene un amigo que separa o recicla

Tiene amigo que separa/recicla	Si separa la basura		
	Nunca	A veces	Siempre
No	0.43	0.14	0.42
Si	0.11	0.17	0.72

Fuente: elaboración propia

La tabla 2 muestra la probabilidad a separar la basura dependiendo si el encuestado tiene un amigo que separa o recicla. La probabilidad a separar la basura de aquellos quienes tienen un amigo es mayor de los que no lo tienen.

Conclusiones

En Texcoco casi toda la población muestra preocupación por que se establezca un sistema de reciclaje; no obstante, no todas las personas están de acuerdo en que se cobre una cuota monetaria por su implementación, por lo que el sistema de reciclaje recomendado es el del precio basado en la unidad, con la opción de diseño sistema híbrido.

El nivel educativo tradicional está relacionado con la separación de los RSU en el hogar, por lo que es menester fortalecer el sistema educativo con temas ambientales.

Las mujeres tienden a aceptar más el reciclaje que los hombres; por lo anterior, en las campañas o programas ambientales se debe de poner énfasis en el género femenino, a fin de tener éxito en esta actividad.

La separación de RSU y el reciclaje son actividades sociales; por lo tanto, es necesario encontrar partícipes claves que contribuyan con la difusión de esta actividad. Para lo anterior se recomienda primeramente proponer talleres ecológicos y educar a la población desde la niñez en el tratamiento de sus residuos orgánicos a nivel familia y a clasificar los materiales inorgánicos; de esta forma se obtendrían beneficios por esta actividad, en vez de pagar por deshacerse de los residuos (casi siempre se da propina o una cuota a los que imparten este servicio). Esta actividad puede apoyarse con el personal que presta algún tipo de servicio social o con los que reciben algún subsidio como los del Programa de Desarrollo Humano (oportunidades) o con instituciones educativas. De igual manera, el sistema de recolección debe implementarse recolectando la basura orgánica por lo menos tres veces a la semana y la basura inorgánica dos veces a la semana los materiales más abundantes y una vez por semana los menos abundantes; de esta forma el municipio se ahorraría tiempo y podría tener ingresos por la venta del material que puede reciclarse.

Otra solución al problema de los desechos urbanos es promover los centros de acopio de material reciclable en diferentes puntos estratégicos del municipio, así, la población tendría incentivos económicos y ambientales para realizar el reciclaje. Para llevar a cabo esto, se requiere organizar a los pepenadores y a las personas involucradas en el reciclaje en grupos sociales o en pequeñas empresas con figura jurídica; de tal forma que puedan gestionar recursos de los diferentes programas de gobierno como Activos Productivos, FONAES, Incubadoras de Empresas, entre otros; y convertir de este modo al reciclaje en un negocio que genere empleos y beneficios para la sociedad.

Referencias

- [1] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2007. Política y estrategias para la prevención y gestión integral de los residuos en México. *En línea* <http://siscop.inecc.gob.mx/novedades/politica_y_estrategias_gir.pdf>. Recuperado el 01/05/2016.
- [2] Cámara de Diputados del H. Congreso de La Unión. 2015. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
- [3] Instituto Nacional de Ecología. 2007. Marco institucional y legal aplicable al manejo integral de los residuos sólidos municipales y la prevención de la contaminación del suelo. *En línea* <<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/345/marco.html>> Recuperado el 10/05/2016.
- [4] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Medio ambiente, asentamientos y actividades humanas, residuos, sólidos urbanos, disposición final, tipo de tiradero 2000 – 2013 nacional.r *En línea* <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb311&s=est&c=33223>>.
- [5] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2012. Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. *En línea* <http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcenica/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf>.
- [6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. Medio ambiente, asentamientos y actividades humanas, residuos sólidos urbanos, recolección – promedio diario – 2014, entidad federativa.r *En línea* <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb311&s=est&c=33223>>.
- [7] Departamento de Limpia y Sanidad; comunicación personal, 20 de enero de 2010.
- [8] Cuevas G. Periódico Alianza Tex. Junio de 2012. Basura el tercer problema que enfrenta Texcoco.
- [9] H. Congreso de la Unión. 2012. Gaceta Parlamentaria, Número 3607-III. *En línea* <<http://gaceta.diputados.gob.mx/Black/Gaceta/Anteriores/62/2012/sep/20120920-III/Proposicion-16.html>>.

- [10] H. Ayuntamiento de Texcoco. 2015. Dirección de Ecología y Medio Ambiente. Plan de Trabajo.
- [11] Personal de Limpia Pública, comunicación personal, 10 de enero de 2016.
- [12] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Censos y conteos de población y vivienda. En línea <dehttp://www3.inegi.org.mx/sistemas/iter/default.aspx?ev=5>
- [13] Mendenhall W., J. E. Reinmuth. 1981. Estadística para administración y economía. Primera edición. Grupo editorial Iberoamérica. California, Estados Unidos de América. Pp.: 542-543.
- [14] Dijkgraaf E., R Gradus. 2008. Environmental activism and dynamics of unit-based pricing systems. SEOR-ECRI and Rotterdam School of Economics. The Netherlands.: 4-18.

Perfiles de consumo ambiental para la disminución de residuos sólidos

¹Wendolyn Elizabeth Aguilar Salinas, ²Sara Ojeda Benítez, ¹Samantha Eugenia Cruz Sotelo

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Blvd. Benito Juárez S/N Col. Insurgentes Este C.P.21280, (686)5664270, aguilar.wendolyn@uabc.edu.mx

²Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Calle de la Normal y Blvd. Benito Juárez S/N Col. Insurgentes Este C.P.21280, (686)5664150, sara.ojeda.benitez@uabc.edu.mx

³Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Blvd. Benito Juárez S/N Col. Insurgentes Este C.P.21280, (686)5664270, samantha.cruz@uabc.edu.mx

Resumen

El proceso de compra es complicado e involucra una serie de características, desde la necesidad de adquirir un producto hasta su posterior desecho y el agregarle la parte ambiental lo hace aún más difícil. Es por esto, que identificar los factores que lo modifican, permite determinar perfiles de consumo ambiental. Para realizar este trabajo se obtuvo información de una encuesta aplicada a una muestra representativa de la población de Mexicali y para disminuir su complejidad de análisis, se utilizó la clusterización neuro-difusa basada en la técnica de Sugeno. El resultado, cinco perfiles de consumo ambiental, basado en las funciones de membresía y las reglas difusas generadas. Las diferencias entre los perfiles encontrados se presenta en las prácticas proambientales que corresponden a la reducción en el consumo, reuso, reciclaje, así como en los factores situacionales y ambientales de la vivienda, que afectan un comportamiento ambiental. La descripción de cada perfil permite identificar las características que lo motivan a consumir e incluir en su consumo el criterio de protección del ambiente, también permiten la búsqueda de estrategias de concientización para los consumidores que no les interesa la protección del ambiente.

Palabras Clave: *Clusterización neuro-difusa, consumo ambiental, proceso de compra, residuos sólidos.*

1. Introducción

Actualmente en México, no se cuenta con la infraestructura necesaria para satisfacer las demandas de la población con respecto a la recolección, tratamiento y disposición final de los residuos que genera, por lo cual, es necesario disminuir los residuos sólidos desde la fuente y al mismo tiempo disminuir el impacto ambiental que estos ocasionan. Los consumidores en el momento de la compra inician un proceso que daña al medio ambiente, al desechar y generar residuos, por lo que las características o factores que los llevan a generar estas grandes cantidades de residuos sólidos se convierten en esencial.

Para lograr esta disminución de residuos sólidos es indispensable identificar a aquellos consumidores que son causantes de tan excesiva generación de residuos y de esta manera crear estrategias que permitan tratar a este tipo de consumidores mediante estrategias para modificar su comportamiento de compra a uno protector del medio ambiente.

El comportamiento del consumidor y su interacción con el medio ambiente está asociado a la conciencia ambiental, cuyas dimensiones (conocimiento del medio ambiente, los valores, las actitudes, la voluntad de actuar y los comportamientos reales) están influidas por factores intencionales y situacionales [1].

Para explicar perfiles de comportamiento ambiental en el consumidor, primeramente se deben identificar las características que los motivan a desarrollar comportamientos protectores del ambiente. En las últimas décadas, se han realizado estudios para analizar las variables que influyen en el comportamiento ambiental. El vínculo entre las actitudes y el comportamiento [2]-[4] se ha establecido empíricamente, pero es necesario identificar con mayor precisión los factores que permitan modificar su comportamiento.

Para promover un cambio en la conducta del consumidor, es necesario desarrollar un modelo que promueva las prácticas de reducción, reutilización y reciclaje de materiales (3R's) [5], así como otros factores que influyen en el comportamiento del consumidor, y que afectan el comportamiento ambiental. Entre los más destacados, se encuentran: los factores sociodemográficos, psicográficos, de información y conocimiento medioambiental, hábitos de consumo, prácticas proambientales y variables situacionales y ambientales [1], [6]-[8].

Para disminuir la complejidad del análisis de las variables involucradas en el comportamiento ambiental del consumidor, se usan las herramientas de inteligencia artificial, las cuales pueden ser aplicadas a problemas complejos donde no se tiene un algoritmo específico de resolución. Una de estas herramientas es la técnica genfis2, la cual genera una estructura del sistema de inferencia difuso a partir de la base de conocimiento utilizando una agrupación substractiva, determinando el número de reglas y funciones de membresía de los antecedentes, siguiendo por una estimación lineal de mínimos cuadrados para determinar los consecuentes de cada regla.

En estos sistemas neuro-difusos, se combina las ventajas de las redes neuronales y la lógica difusa, incluyendo las habilidades de aprendizaje y de optimización, basados en reglas if-then siguiendo un razonamiento humano sin tener sus desventajas [9].

2. Materiales y métodos

2.1 Sitio de estudio

Mexicali, capital de Baja California, México, representa cerca del 18% de la superficie total del estado y 0.7% del país, este porcentaje corresponde a 13,936 Km², y una población de 936,826 habitantes (INEGI, 2010). Geográficamente se ubica al norte del país y colinda al norte y al este con Estados Unidos de América.

2.2. Identificación tamaño de muestra

Para la realización de esta investigación se esperaban un total de 1800 encuestas a analizar, según el número de viviendas por estrato socioeconómico de la ciudad. Dicha muestra representativa, se desarrolló con una confiabilidad del 90%. Y debido a la gran participación de la población, finalmente se analizaron un total de 2831 encuestas (ver Tabla 1).

Tabla 1. Cantidad de viviendas esperadas y analizadas por estrato socioeconómico.

Estrato Socioeconómico	Cantidad Esperada	Cantidad Analizada
Residencial	261	268
Medio	266	488
Popular	269	619
Interés Social	269	477
Popular Progresista	268	416
Precario	242	282
Granjas	225	281

2.3. Clusterización substractiva basada en un sistema de inferencia difuso Takagi-Sugeno

El agrupamiento substractivo propuesto, considera puntos de datos como candidatos para el centro de las agrupaciones y calcula la densidad en cada punto. Uno de los aspectos importantes del algoritmo de clusterización substractiva es la determinación del radio de clúster (r_a) que define el número de grupos y en consecuencia el número de reglas. Se generan las funciones de membresía de los antecedentes y el número

de reglas difusas if-then, se utilizó la estimación lineal de mínimos cuadrados para determinar los parámetros consecuentes de cada regla. Este proceso se llevó a cabo por medio de la función `genfis2` de MATLAB.

3. Análisis de resultados.

En la figura 1, se presenta la estructura del modelo propuesto, donde el sistema difuso óptimo se determinó mediante la variación arbitraria de un radio de clúster de 0.1 a 1.0 con un paso de 0.5. Se extrajeron las funciones de membresía de los antecedentes y el número de reglas difusas if-then, se utilizó la estimación lineal de mínimos cuadrados para determinar los parámetros consecuentes de cada regla [10].

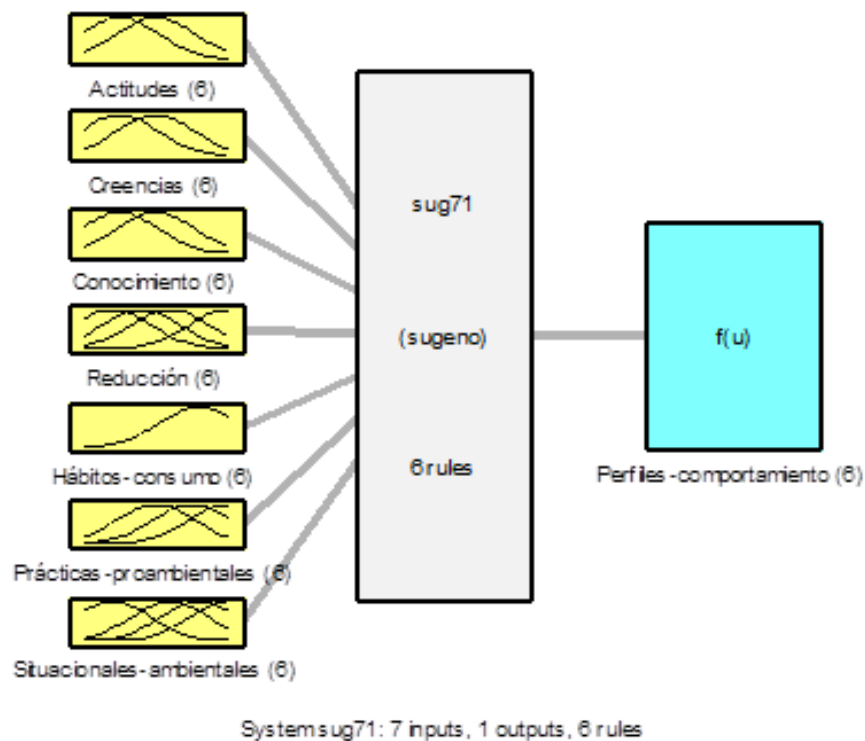


Figura 1. Modelo difuso Takagi-sugeno propuesto de siete entradas y una salida.

En la tabla 2 se presentan los resultados, se observa que mediante la especificación de un radio de 0.25, el modelo asociado ha producido una raíz del error cuadrático medio (RMSE) más bajo (0.1582). Sin embargo se utilizó el de 0.75 por que el número de agrupaciones es el más adecuado para la construcción de perfiles de comportamiento. Durante el proceso de aprendizaje, los parámetros tanto de las funciones de membresía, como de las ecuaciones consecuentes del sistema difuso se ajustan continuamente hasta que el error es minimizado.

Tabla 2. Rendimiento de los sistemas de inferencia difusos Takagi-Sugeno utilizando la agrupación subtractiva para un r_a con variación de 0.1 a 1.0.

Modelo	r_a valor	n_c	RMSE de la validación
1	0.1	317	0.1658
2	0.25	198	0.1582
3	0.5	16	0.2537
4	0.75	6	0.2893
5	1.0	2	0.2999

En la tabla 3, se presentan las seis reglas generadas, las cuales son el corazón de los sistemas basado en lógica difusa, donde los antecedentes de las reglas contienen lingüísticos definidos por conjuntos difusos caracterizados por funciones de membresía gaussianas y los consecuentes de las reglas son funciones lineales. En la tabla 4, se muestran los parámetros de los consecuentes lineales de cada una.

Tabla 3. Reglas difusas.

1. If (Actitudes is in1cluster1) and (Creencias is in2cluster1) and (Conocimiento is in3cluster1) and (Reducción is in4cluster1) and (Hábitos-consumo is in5cluster1) and (Prácticas-proambientales is in6cluster1) and (Situacionales-ambientales is in7cluster1) then (Perfiles-comportamiento is out1cluster1)
2. If (Actitudes is in1cluster2) and (Creencias is in2cluster2) and (Conocimiento is in3cluster2) and (Reducción is in4cluster2) and (Hábitos-consumo is in5cluster2) and (Prácticas-proambientales is in6cluster2) and (Situacionales-ambientales is in7cluster2) then (Perfiles-comportamiento is out1cluster2)
3. If (Actitudes is in1cluster3) and (Creencias is in2cluster3) and (Conocimiento is in3cluster3) and (Reducción is in4cluster3) and (Hábitos-consumo is in5cluster3) and (Prácticas-proambientales is in6cluster3) and (Situacionales-ambientales is in7cluster3) then (Perfiles-comportamiento is out1cluster3)
4. If (Actitudes is in1cluster4) and (Creencias is in2cluster4) and (Conocimiento is in3cluster4) and (Reducción is in4cluster4) and (Hábitos-consumo is in5cluster4) and (Prácticas-proambientales is in6cluster4) and (Situacionales-ambientales is in7cluster4) then (Perfiles-comportamiento is out1cluster4)
5. If (Actitudes is in1cluster5) and (Creencias is in2cluster5) and (Conocimiento is in3cluster5) and (Reducción is in4cluster5) and (Hábitos-consumo is in5cluster5) and (Prácticas-proambientales is in6cluster5) and (Situacionales-ambientales is in7cluster5) then (Perfiles-comportamiento is out1cluster5)
6. If (Actitudes is in1cluster6) and (Creencias is in2cluster6) and (Conocimiento is in3cluster6) and (Reducción is in4cluster6) and (Hábitos-consumo is in5cluster6) and (Prácticas-proambientales is in6cluster6) and (Situacionales-ambientales is in7cluster6) then (Perfiles-comportamiento is out1cluster6)

Tabla 4. Parámetros de los consecuentes para cada variable por agrupación.

Coeficientes lineales		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	b
Después del entrenamiento	C1	0.0315	0.1904	0.0492	0.148	0.1266	0.2341	0.1041	0.5513
	C2	-0.0010	-0.0091	0.0624	-0.1037	0.0456	-0.0231	0.2931	2.71
	C3	0.0654	0.0694	0.0348	0.156	0.1404	0.4063	-0.0464	-0.2126
	C4	0.0924	-0.1562	0.0661	-0.0672	0.161	0.5754	0.5258	-0.5828
	C5	0.0643	-0.0266	-0.045	0.0061	0.0989	-0.0597	0.1813	3.05
	C6	0.0927	0.0061	0.1349	0.0645	0.0284	0.24	0.1866	0.349

Para visualizar el comportamiento de las variables de entrada, con respecto a la variable de salida (agrupación), se generaron superficies lineales, donde se observó que entre más positivas eran creencias, prácticas proambientales, los factores situacionales y ambientales, el comportamiento del consumidor es más ambiental. Cuando las actitudes y el conocimiento medioambiental alcanzan el nivel negativo, el

comportamiento se tornaba también negativo. La variable reducción en el consumo, es una práctica proambiental que se analizó por separado, debido a que ésta se encuentra en una etapa del proceso de compra distinta a las demás, y no depende de los residuos generados en la vivienda. Sin embargo, su comportamiento fue el mismo, con excepción de que cuando alcanza el nivel negativo, el comportamiento ambiental del consumidor tiende a la indiferencia. Los hábitos de consumo no fueron significativos para el desarrollo de un comportamiento ambiental, ya que la población en general no los desarrolla.

Mediante las seis reglas difusas y el comportamiento de las variables de entrada con respecto a la variable de salida, se establecieron los perfiles de comportamiento ambiental.

1. Conscientes ambientales. Dentro de este perfil, se encuentran todos aquellos consumidores que cuentan con actitudes, creencias y conocimiento sobre la problemática ambiental, practican ocasionalmente la reducción en el consumo, sin embargo, muy pocas veces desarrollan alguna otra práctica proambiental. Este perfil se clasifica en dos grupos: Los que cuentan con las estructuras físicas en su vivienda que permitan el desarrollo de prácticas proambientales, y los que no.
2. Sin motivación. En este perfil, se encuentran los consumidores que poseen actitudes y conocimiento medioambiental positivo, sus creencias muestran indiferencia a la conservación del medio ambiente y en la realización de prácticas proambientales, ya que no cuentan con las estructuras necesarias en su vivienda para su desarrollo.
3. Impracticables. Estos consumidores cuentan con buenas actitudes y conocimiento sobre el ambiente, sus creencias tienden a la indiferencia y no desarrollan práctica proambiental alguna.
4. Indiferentes por decisión. Aquellos consumidores que les es indiferente todo el proceso de compra, desde la elección del producto hasta la manipulación de los residuos generados. Sin embargo, desarrollan en todo momento, la reducción en el consumo.
5. Generadores de residuos. En este perfil, están todos los consumidores que tienen una conciencia ambiental indiferente, así mismo, ocasionalmente desarrollan prácticas proambientales dentro de la vivienda (separación, reuso y reciclaje), debido a que no cuentan con aspectos físicos que lo permitan. Sin embargo, practican la reducción en el consumo.

4. Conclusiones

En este trabajo se propone un sistema de inferencia difuso adaptativo combinado para estimar y predecir perfiles de consumo ambiental en la ciudad de Mexicali, con el que se generaron cinco perfiles de comportamiento basado en siete variables de entrada. Cada variable o factor incluido en el modelo constituye una parte esencial para reconstruir el comportamiento de un consumidor con relación al medio ambiente que lo rodea y de esta manera establecer perfiles que describan la relación que existe entre el consumidor y el medio ambiente. Por esto, se analizaron los factores que influyen directa o indirectamente en que el consumidor tenga un comportamiento proambiental.

Durante el análisis, se pudo observar que la variable hábitos de consumo no fue significativa para definir los perfiles de comportamiento, debido a que la totalidad de la población se encontró en el mismo nivel de pertenencia.

La práctica proambiental que más realiza la población es la reducción en el consumo. Esto puede ser causado por las limitaciones económicas del consumidor y no precisamente por la conservación del medio ambiente. Por lo que es necesario agregar al estudio del comportamiento del consumidor las variables sociodemográficas que pueden modificar su conducta de compra.

Es importante mencionar que en la ciudad de Mexicali no existen productos plenamente verdes, por lo que no se encontraran consumidores verdes como en otras partes del mundo, pero se ha demostrado que la población sí está consciente del daño que como consumidores le ocasionan al medio ambiente y de que es necesario hacer algo para aminorar el impacto que tienen los residuos que generan. Por lo que es

indispensable proveer a la población de información necesaria para la realización de un consumo sustentable, para la reducción de residuos desde la fuente y evitar así la cantidad de desechos que llegan a los rellenos sanitarios provocando contaminación y enfermedades para las comunidades aledañas al sitio.

Los resultados anteriormente mencionados son particulares de esta ciudad y dependen de las características de la población, así como de los productos que se oferten.

Referencias

- [1] Zsóka, Á., Szerényi, Z. M., Széchy, A., & Kocsis, T. (2012). Greening due to environmental education? Environmental knowledge, attitudes, consumer behavior and everyday pro-environmental activities of Hungarian high school and university students. *Journal of Cleaner Production*.
- [2] Liska, A. (1974). Emergent issues in the attitude-behavior consistency controversy. *American Sociological Review*, 39, 261–272.
- [3] Ajzen, I., Fishbein, M. (1980). Understanding Attitudes and Predicting Social Behavior. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- [4] Weigel, R. H. (1983). Environmental attitudes and the prediction of behavior. In: Feimer, N.R., Geller, E.S. (Eds.), *Environmental Psychology*. Praeger, New York.
- [5] Cândido, L., Kindlein, W., Demori, R., Carli, L., Mauler, R., & Oliveira, R. (2011). The recycling cycle of materials as a design project tool. *Journal of Cleaner Production*, 19(13), 1438–1445.
- [6] Hartmann, P., & Apaolaza-Ibañez, V. (2012). Consumer attitude and purchase intention toward green energy brands: The roles of psychological benefits and environmental concern. *Journal of Business Research*, 65(9), 1254–1263.
- [7] Wang, Y. J., Minor, M. S., & Wei, J. (2011). Aesthetics and the online shopping environment: Understanding consumer responses. *Journal of Retailing*, 87(1), 46–58.
- [8] Cornelissen, G., Pandelaere, M., Warlop, L., & Dewitte, S. (2008). Positive cueing: Promoting sustainable consumer behavior by cueing common environmental behaviors as environmental. *International Journal of Research in Marketing*, 25(1), 46–55.
- [9] Deng, X., & Wang, X. (2009). Incremental learning of dynamic fuzzy neural networks for accurate system modeling. *Fuzzy Sets and Systems*, 160(7), 972–987.
- [10] Adoko, A. C., Gokceoglu, C., Wu, L., & Zuo, Q. J. (2013). Knowledge-based and data-driven fuzzy modeling for rockburst prediction. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 61, 86–95.

Validación de una escala para evaluar los motivos para la separación de residuos sólidos en el hogar

¹ Cristina Barrientos Durán, ²José Marcos Bustos Aguayo, ³Ángel Eduardo Velasco Rojano

¹Universidad La Salle Nezahualcóyotl, Av. Bordo de Xochiaca esquina con Av. Adolfo López Mateos, Col. Tamaulipas, teléfono 22 28 18 97 cristina2902@gmail.com

²Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM ³Facultad de Psicología, UNAM

Resumen

La cantidad de residuos sólidos urbanos está creciendo a un ritmo exponencial y se ha convertido en un problema no solo ambiental, sino también social. Es urgente reincorporar los residuos a los procesos productivos mediante el reciclaje y, un primer paso para el mismo es la separación de los residuos sólidos. Los motivos constituyen antecedentes y/o incentivos que activan la acción de separación, es decir para involucrarse los individuos deben estar motivados por lo que es importante conocer sus razones o motivaciones. De ahí que el objetivo principal de la presente investigación fue validar y confiabilizar un instrumento para evaluar los motivos que tenían las personas para separar los residuos. También analizar si existían diferencias estadísticamente significativas en virtud del sexo y la edad. Se realizó un muestreo no probabilístico e intencional y la muestra estuvo constituida por 300 personas (n=153 mujeres) y (n=147 hombres) de entre 18 y 65 años de edad (M=43.83, D.E.=14.47). La escala se conformó por tres factores *motivos para evitar problemas* ($\alpha=.88$), *motivos de bienestar* ($\alpha=.88$) y *motivos prácticos* ($\alpha=.71$), con una confiabilidad total de .91 y un porcentaje de varianza explicada total de 59%. El factor en el que se presentó el promedio más alto fue en el de motivos para evitar problemas, seguido del de bienestar y por último motivos prácticos. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas de acuerdo a las variables sexo y edad. Los resultados se discutieron en torno a la estructura reportada en otras investigaciones tanto nacionales como extranjeras.

Palabras Clave: *Motivos, residuos sólidos, reutilización, separación.*

1. Introducción

Ante la crisis ambiental por la que atraviesa el planeta surge como respuesta la propuesta de un Desarrollo Sustentable – DS-[1]. Para Corral [2] es un concepto que representa una conciliación que implica una interdependencia dinámica entre el desarrollo humano en el uso y la restauración de los recursos naturales y que tiene en cuenta el bienestar de las generaciones humanas presentes y futuras. Y según el mismo autor, involucra diversos niveles (económicos, sociales y ambientales) y por tanto debiera ser del interés y aplicación de todas las áreas del conocimiento humano. Es tanto un concepto como un objetivo y es el producto de la necesidad de reestablecer el lugar de la naturaleza en la teoría económica y en las prácticas de desarrollo [3].

De ahí que, para lograr la meta de la sustentabilidad los seres humanos no sólo deben proteger al ambiente y restringir el consumo excesivo de recursos naturales, sino además promover su renovación y recuperación para asegurar su uso sustentable a lo largo del tiempo [4]. Las ciencias naturales y sociales pueden proporcionar una guía para llevar a cabo dichas acciones [5].

Específicamente, la psicología ambiental puede proporcionar de forma coherente y sistemática la descripción de diferentes estilos de vida y consumo [6]. Una variable que impacta a las diversas conductas proambientales (CPA) son los motivos ambientales [7]. En 2002 la OCDE reportó que, la cantidad de residuos sólidos urbanos en los países que la conforman tuvo un aumento importante en las décadas 1980-2000 (en términos tanto absolutos como relativos, per cápita) y señaló que, esta tendencia tenderá a continuar hasta el 2020 [8]. Por tanto, es imprescindible utilizar los recursos de manera eficiente,

aumentando la vida útil de los productos y reincorporando los residuos a los procesos productivos mediante el reuso y el reciclaje [9].

Separación de residuos sólidos

El término reciclaje hace referencia a la transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico evitando su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas y sus elementos [10].

Luna [11] define la conducta de separación como aquella en la cual las personas seleccionan los objetos y los colocan en contenedores específicos. En México las conductas que llevan a cabo con mayor regularidad las personas en relación con el reciclaje son: preparar los materiales, almacenar y dejar que otros los procesen [12]. Barr [13] analizó variables situacionales, psicológicas y valores en relación con las conductas de reducción y reciclaje y señalaron que la estructura de ambas era diferente tanto en el tipo como en el número de variables relacionadas. Las variables que más se relacionaron con la conducta de reciclaje fueron las situacionales (tamaño de la casa, disponibilidad de información sobre los programas locales y el acceso a los contenedores) y, las psicológicas (conciencia y aceptación de la norma, preocupación activa y percepción de conveniencia y simplicidad), no así los valores.

En México López [14], probó una serie de variables con la finalidad de generar un esquema explicativo de las conductas de reuso y separación de residuos en habitantes de la ciudad de México y concluyó que la conducta de separación fue explicada por las variables psicológicas responsabilidad, regulación identificada e intención.

Motivos ambientales

Los motivos se definen como la descripción de las razones o descripciones de los antecedentes o incentivos que la persona considera determinan la realización de su conducta proambiental [15]. Corral [16] los define como una variable disposicional valorativa, una inclinación en la toma de decisiones para responder de manera favorable o desfavorable a un objeto, evento o situación. Y señala que, tienen como fuente para el proceso de toma de decisiones a las elecciones y las preferencias.

Según Corral [17]-[18] las razones que dan las personas para cuidar el ambiente son predictores significativos de responsabilidad y pueden ser considerados requisitos autoimpuestos por cada individuo. Y según el mismo autor, existen una gran cantidad de motivos proambientales los cuales se pueden dividir en extrínsecos e intrínsecos. Los extrínsecos se refieren a las instancias en que la CPA es promovida por situaciones externas al individuo, por ejemplo, el reforzamiento económico y/o social o bien el castigo. Por el contrario, los motivos intrínsecos resultan de la satisfacción derivada de la ejecución de la conducta [16], [19] y son autoreforzantes en sí mismos.

Entonces se tienen dos tipos de motivos (externos e internos): por un lado el comportamiento de separación de residuos sólidos en el hogar puede ser entendido como resultado de las recompensas y sanciones reguladas por los programas de los gobiernos locales y la disposición de la infraestructura para separar, por ejemplo centros de acopio complementarios a los servicios municipales o delegacionales ([11], [14], [16]). Y por el otro, las personas que separan sus residuos pueden responder a la adopción voluntaria (menos regulada externamente por las recompensas y sanciones), justifican su comportamiento por la satisfacción personal que les genera ayudar altruistamente, así como por mantener la salud propia y de los suyos ([7], [27], [28]). La perspectiva de los motivos adoptada aquí se nutre de ambos puntos de vista.

En una investigación realizada por Clark y colaboradores [20] preguntaron a 900 personas tanto los motivos ambientales y no ambientales para participar en un programa de ahorro de energía, después les pidieron a

las personas que ordenaran en función de su importancia cinco razones para involucrarse en un programa de ahorro de energía. Los motivos evaluados fueron: beneficios de calidad del aire a los residentes de Michigan, la mejora en la salud de los ecosistemas, la satisfacción de participación en el programa, una mejor salud personal o familiar y disminuir el calentamiento global, los cuales a su vez señalaron se pueden clasificar en biocéntricos, altruistas y egoístas. Los autores concluyeron que las personas tenían distintos tipos de motivación para participar en acciones ambientales.

En México, Corral [18] evaluó las razones o motivos para ahorrar el agua y las agrupó en dos categorías: el ahorro de recursos, que incluyó tres ítems (ahorrar por motivos de conservación, cooperar con campañas de conservación y ahorrar dinero, y el cuidado de la familia con dos reactivos (conservar el medio ambiente para mis hijos, para cuidar de la familia). Fueron estas dos últimas razones las que obtuvieron los puntajes más altos.

También en México, Bustos, Flores y Andrade [26] obtuvieron dos factores en la escala motivos para el ahorro de agua: motivos para el ahorro de agua ($\alpha = .91$) y motivos económico-materiales ($\alpha = .79$). En general obtuvieron un importante grado de acuerdo con las razones señaladas, sin embargo, fue en el último factor en donde tuvieron menor puntaje.

A partir de la revisión anterior se puede concluir que los motivos que tienen los individuos para realizar las conductas son un elemento psicológico importante que puede ser la base de programas de intervención efectivos [2], [21]. En el contexto mexicano deben ser analizados de una manera cuidadosa ya que, mucha de la investigación en torno al tema proviene de la mercadotecnia la cual está específicamente enfocada a promover el consumo de cierto tipo de materiales y no a la investigación de cómo minimizar el impacto ambiental [22]-[23]. En la presente investigación se planteó como principal objetivo validar y confiabilizar un instrumento para evaluar los motivos que tenían las personas para separar los residuos sólidos en sus hogares. También analizar si existían diferencias estadísticamente significativas en torno a las variables sexo y edad.

Método

Participantes

Se entrevistaron a 300 personas y se tomaron como criterios de inclusión fueron: que los participantes tuvieran un rango de edad de entre 18 y 65 años, de ambos sexos, con vivienda ubicada en la Delegación Benito Juárez del D.F. y que accedan a participar voluntariamente en la investigación. Y como criterios de exclusión: no estar dentro del rango de edad especificado, que habitaran en zonas distintas a las elegidas para la encuesta o que residieran en unidades habitacionales.

Instrumento

Escala con 18 reactivos los cuales abordaban diversos motivos para separar los residuos sólidos en el hogar. Las opciones de respuesta eran tipo Likert e iban de 1 *totalmente en desacuerdo* a 4 *totalmente de acuerdo*. En la presente investigación se realizó la validez y confiabilidad del mismo.

2.3. Procedimiento

El diseño del estudio fue no experimental, transversal, descriptivo y correlacional [24] y se realizó un muestreo no probabilístico e incidental [25]. Primero se aplicó un cuestionario de preguntas abiertas a 60 personas a las cuales se solicitaba señalaran las razones que tenían para separar los residuos sólidos en sus hogares. A partir de las respuestas se realizó un análisis de contenido y de frecuencias y se construyeron 18 reactivos con motivos para separar los residuos sólidos los cuales se aplicaron a 300 personas en su domicilio en donde los entrevistadores previamente capacitados y con identificación escolar acudieron a las casas habitación a colonias de la Delegación Benito Juárez de la ciudad de México. Se solicitaba la participación

de una persona que fuera mayor de 18 años y una vez que aceptaba participar se aplicaba el cuestionario de manera individual. Se capturaron y analizaron los datos en el paquete estadístico SPSS versión 21. Se realizó un análisis factorial exploratorio de componentes principales y con rotación varimax con cargas arriba de .40. Es importante señalar que dicho método tiene como objetivo principal tratar de establecer una estructura subyacente entre las variables del análisis, a partir de estructuras de correlación entre ellas; es decir busca definir grupos de variables (factores) que estén altamente correlacionados entre sí. De ahí que no se tengan categorías de análisis predeterminadas [27].

Resultados

Se entrevistaron a 300 personas, de ellos el 51% eran mujeres (n=153) y el 49% hombres (n=147) de entre 18 y 65 años de edad (M=43.83, D.E.=14.47). La edad se dividió en tres grupos (grupo uno de 18 a 33 años, n=85; grupo dos de 34 a 49 años, n= 95 y grupo tres de 50 a 65 años, n=119).

Análisis factorial exploratorio

Se realizó un análisis factorial exploratorio de componentes principales con rotación varimax con puntuaciones superiores a .40. Se obtuvieron tres factores, el primero se denominó *motivos para evitar problemas* ($\alpha=.88$) y agrupó seis ítems referidos a evitar cierto tipo de problemas tanto personales como al ambiente; al segundo factor *motivos de bienestar* ($\alpha=.88$) y se refirieron a mantener un ambiente agradable y, al tercer factor se le llamó *motivos prácticos* ($\alpha=.71$) que tienen que ver con una obligación legal, dar menos trabajo a los basureros y ahorrar dinero (ver tabla 1). La confiabilidad total de la escala fue de .91 con un porcentaje de varianza explicada total de 59%.

Tabla 1. Análisis factorial de la escala de motivos para la separación de residuos sólidos

No.	Reactivo	Factor 1	Factor 2	Factor 3
	Motivos para evitar problemas			
12	Por respeto	.87		
11	Para que no se tape el drenaje	.83		
13	Por amor a la naturaleza	.72		
2	Para evitar plagas	.65		
10	Para que su reciclaje sea más rápido	.61		
4	Para evitar malos olores	.58		
	Motivos de bienestar			
18	Para evitar enfermedades		.90	
16	Para tener más limpia la casa		.83	
17	Para disminuir el volumen de basura		.78	
	Motivos prácticos			
8	Para ahorrar dinero			.82
9	Para dar menos trabajo a los basureros			.62
5	Por seguir una obligación legal			.61
	% de varianza explicada	27%	18%	14%
	Alpha de Cronbach	.88	.88	.71
	Alpha de Cronbach y % de varianza total de la escala con 12 elementos	.91, 59%		

Análisis descriptivos

Al analizar el grado de acuerdo por parte de la muestra en general, se determinó que el factor en el que se presentó el promedio más alto fue en el de motivos para evitar problemas, seguido del de bienestar y por último motivos prácticos (ver tabla 2).

Tabla 2. Promedios de la muestra en la escala motivos para la separación de residuos sólidos

Factor	% varianza explicada	α	M	DE
Motivos para evitar problemas	27%	.88	3.15	.509
Motivos de bienestar	18%	.88	3.12	.599
Motivos prácticos	14%	.71	2.77	.659

Las mujeres puntuaron más alto en los factores motivos para evitar problemas y bienestar; mientras que, los hombres en los motivos prácticos. Sin embargo, después de realizar una prueba t para muestras independientes se determinó que, dichas diferencias no fueron estadísticamente significativas (ver la tabla 3).

Tabla 3. Medias y desviaciones estándar obtenidas por la muestra de acuerdo al sexo en la escala de motivos para la separación de residuos sólidos

	Evitar problemas		Bienestar		Prácticos	
	M	DE	M	DE	M	DE
Mujer	3.16	.497	3.17	.600	2.74	.703
Hombre	3.13	.523	3.08	.597	2.80	.611

Al analizar los datos de acuerdo a los grupos de edad, la categoría dos que conjuntaba a las personas de entre 34 y 49 años tuvo los promedios más altos en los tres factores; sin embargo después de realizar una prueba ANOVA, para evaluar si dichas diferencias eran estadísticamente significativas se pudo afirmar que no lo fueron (ver tabla 4).

Tabla 4. Medias y desviaciones estándar obtenidas por la muestra de acuerdo a la edad en la escala motivos para la separación de residuos sólidos

	Evitar problemas		Bienestar		Prácticos	
	M	DE	M	DE	M	DE
Grupo 1 (18 a 33 años)	3.11	.452	3.07	.562	2.67	.603
Grupo 2 (34 a 49 años)	3.22	.579	3.18	.693	2.83	.749
Grupo 3 (50 a 65 años)	3.12	.487	3.12	.540	2.79	.605

Discusión y conclusiones

La separación de los residuos sólidos más allá de ser un mandato posee componentes cognoscitivos y afectivos que pueden llevar a los ciudadanos a su correcta y continua implementación [8], [10]. Por tanto, se consideró relevante conocer las razones que tenían las personas para realizar este tipo de acción proambiental tan específica [15], [16] y para ello era importante construir un instrumento válido y confiable que fuera sensible a las mismas. Se puede concluir que el objetivo se cumplió ya que se obtuvo una adecuada confiabilidad y los factores que conformaron la escala resultaron ser coherentes teóricamente. Se observaron dos dimensiones proambientales y una más de tipo práctico, con lo cual se apoya lo reportado por Clark et al. [20] quienes concluyeron que las personas tenían motivos tanto ambientales como no ambientales para participar en un programa de ahorro de energía.

Sin embargo, es necesario hacer notar que las razones que obtuvieron el menor grado de acuerdo fueron las de tipo práctico. Esto coincide con otra investigación anterior en México, en donde Bustos et al. [26] reportaron un factor al que denominaron motivos económico-materiales, el cual mostró una estructura teórica clara, pero obtuvo un bajo porcentaje de acuerdo. A diferencia de lo encontrado por Corral [18] las personas en la presente investigación no consideraron el bien de la familia como un motivo importante para

la separación de los residuos sólidos; aunque es importante señalar que al cuidar el medio ambiente directamente se cuida a los seres humanos en su totalidad.

No existieron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a las razones que tienen las personas para separar sus desechos de acuerdo a sexo y edad, lo cual concuerda con lo reportado en otras investigaciones (e. g. Barr [13], Vicente Molina & Aldamiz-Echevarría González [23]; Sparks, Jessop, Chapman & Holmes [27] & Billingsley [28]) en las cuales se ha concluido que son los factores situacionales (e. g. tamaño de la casa, acceso a los contenedores) y psicológicos (e. g. conciencia y aceptación de la norma) los que afectan directamente la separación de residuos y no, las variables de tipo sociodemográfico.

En conclusión, resulta relevante seguir analizando los motivos o razones por las cuales las personas se adhieren o no a la ejecución de conductas proambientales tan específicas como lo es la separación de residuos, para a partir de ello proponer estrategias específicas de acción adecuadas a la población.

Referencias

- [1] World Commission on Environment and Development ([WCED], 1987). *Our Common Future*. Oxford University Press. Nueva York.
- [2] Corral Verdugo, V. (2010). *Psicología de la sustentabilidad. Un análisis de lo que nos hace pro ecológicos y pro sociales*. Trillas: México.
- [3] Leff Zimmerman, E. (1998). *Globalización, racionalidad ambiental y desarrollo sustentable*. Ed. Siglo XXI y PNUMA: México.
- [4] Corral, V. V., Bonnes, M., Tapia, F. C., Fraijo, S. B., Frías, A., M. & Carrus, G. (2009). Correlates of pro-sustainability orientation: The affinity towards diversity. *Journal of Environmental Psychology*, 29 (1), 34-43. doi:10.1016/j.jenvp.2008.09.001
- [5] Duchin, F. (2001). Environmentally Significant Consumption. En N. J. Smelser & P. B. Baltes (eds.). *International Encyclopedia of Social and Behavioral Sciences*, 4, 2678-2682. Recuperado el 18 de noviembre de 2013 de <http://homepages.rpi.edu/~duchin/encyclopedia.pdf>
- [6] Howard, G. (2000). Adapting human lifestyles for the 21st Century. *American Psychologist*, 55 (5), 509-515. doi.org/10.1037/0003-066X.55.5.509
- [7] Milfont, L. T., Duckitt, J. & Cameron, D. L. (2006). A Cross-Cultural Study of Environmental Motive Concerns and Their Implications for Proenvironmental Behavior. *Environment and Behavior*, 38, 745-766. doi: 10.1177/0013916505285933
- [8] Organización Para La Cooperación Y El Desarrollo Económico ([OCDE], 2002) *¿Hacia un consumo sostenible en los hogares? Tendencias y políticas en los países de la OCDE. Sinopsis de Política*. Recuperado el 16 de marzo de 2009 de: <http://www.oecd.org/departament/html>
- [9] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales ([SEMARNAT], 2008). *Programa Nacional para la Prevención y Manejo Integral de los Residuos, 2009-2012*. Recuperado el 15 de marzo de 2009 de, <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Publicacion/SEMARNAT%20Resumen%20Ejecutivo%2009.pdf>
- [10] *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* ([LGPGIRS], 2003). Recuperada el 15 de mayo de http://www.culturaecologica.org.mx/documentos/1123076683_Ley_General_Residuos.pdf.
- [11] Luna, L. M. G. (2003). *Factores involucrados en el manejo de basura doméstica por parte del ciudadano*. Tesis de doctorado, Universidad de Barcelona, España.
- [12] Bustos Aguayo, M. (1999). *Estrategias conductuales antecedentes para el fortalecimiento de la separación de residuos sólidos reciclables en FES Zaragoza*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [13] Barr, S. (2007). Factors Influencing Environmental Attitudes and Behaviors. A U.K. Case Study of Household Waste Management. *Environment & Behavior*, 39, 435-473. Doi: 10.1177/001391650528342.

- [14] López, C. E. (2008). *Modelo explicativo de la intención y conducta pro-ambiental ante la problemática de los residuos sólidos domésticos*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- [15] Bustos Aguayo, M. (2004). *Modelo de conducta proambiental para el estudio de la conservación de agua potable*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [16] Corral Verdugo, V. (2001). Variables disposicionales, situacionales y demográficas en el reciclaje de metal y papel. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*, 2, 1-19.
- [17] Corral Verdugo, V. (1996). A structural model of reuse and recycling in Mexico. *Environment & Behavior*, 28 (5), 665-669. Doi: 10.1177/001391659602800505
- [18] Corral Verdugo, V. (2002). A structural model of proenvironmental competency. *Environment and behavior*, 34, 531-549. Doi: 10.1177/00116502034004008
- [19] De Young, R. (2000). Expanding and Evaluating Motives for Environmentally Responsible Behavior. *Journal of Social Issues*, 56, 509-526. Doi: 10.1111/0022-4537.00181
- [20] Clark, C. F., Kotchen, M. J. & Moore, R. M. (2003). Internal and external influences on pro-environmental behavior: Participation in a green electricity program. *Journal of Environmental Psychology*, 23, 237-246. Doi: 10.1016/S0272-4944(02)00105-6
- [21] Stern, P. C. (2000). Toward a coherent theory of environmentally significant behavior. *Journal of Environmental Issues*, 56, 407-412.
- [22] Groeber, J. (2008). *Betting the house on private brands, stores*. [WWW document]. Recuperado el 11 de abril de 2016 de URL <http://www.stores.org/stores-magazine-february-2008/betting-house-private-brands> (accessed on 25 September 2012).
- [23] Vicente Molina, A. & Aldamiz-Echevarría González De D. C. (2003). Aproximación al perfil sociodemográfico del consumidor ecológico a través de la evidencia empírica: propuestas para el desarrollo del mix de marketing. *Boletín Económico De ICE*, 2777, 25-39.
- [24] Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Investigación del comportamiento "Teoría psicométrica"*. McGraw-Hill: México.
- [25] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ta ed.). McGraw-Hill: México.
- [26] Bustos Aguayo, J. M., Flores Herrera, L. M. & Andrade Palos, P. (2002). Motivos y percepción de riesgos como factores antecedentes a la conservación de agua en la Ciudad de México. *La Psicología Social en México*, 9, 611- 617.
- [27] Méndez Martínez, C. & Rondón, Sepúlveda, M. A. (2012). Introducción al análisis factorial exploratorio. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 1 (41), 197-207.
- [28] Sparks, P., Jessop, D., Chapman, J. & Holmes, K. (2010). Pro-environmental actions, climate change, and defensiveness: Do self-affirmations make a difference to people's motives and beliefs about making a difference? *British Journal of Social Psychology*, 49, 553-568. DOI; 10.1348/014466609X471976
- [29] Billingsley, K. J. (2014). *Examination Of Food Choice Motives: The Influence Of An Innovative, Interdisciplinary Learning Community Related To Environmental Sustainability*. For the degree of Doctor of Education in Learning Technologies: Pepperdine University.

Participación ciudadana corresponsable en el manejo de los residuos sólidos municipales en Morelos

¹María de Lourdes Trujillo Santisteban, ²Marco Aurelio Meneses

¹Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación (CIByC-UAEM), Av Universidad 1001, Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, (777)3297019, maria.trujillo@uaem.mx, ²Desarrollo Integral Autogestionario A.C. (DIA A.C.)

Resumen

En este trabajo se expone la experiencia, logros y propuestas de Desarrollo Integral Autogestionario DIA A.C. en relación con el Programa de Manejo Alternativo de los Residuos Sólidos Municipales desde el año 2003 en municipios de Morelos y Michoacán.

Propone la separación de los residuos de acuerdo a sus materiales desde los hogares, lo cual implica un proceso de sensibilización, así como entregarlos a un camión que los recibe de manera diferenciada, lo que corresponde a las autoridades municipales crear las condiciones. Este programa contribuye a generar una conciencia clara a la población con respecto a lo que cada uno de nosotros produce de residuos y por tanto abre perspectivas acerca de cómo podemos empezar a reducirlos. Permite que la ciudadanía tome parte activa y responsable, poniendo solución a un problema ambiental grave que tiende a crecer.

En este trabajo se abordan también algunos de los retos más importantes que vemos ante la propuesta actual de algunos gobiernos municipales de manejo de los residuos desde una perspectiva empresarial que elimina la responsabilidad ciudadana y limita la posibilidad de participar en la disminución de su producción, con lo que nos aleja del bienestar de la población a largo plazo mediante el mejor aprovechamiento de recursos.

Consideramos que el PROMAREMUN aborda el problema de los residuos desde el origen, al cuestionar el modelo actual de consumo y al contribuir en la capacidad organizativa, corresponsable y autogestiva de la ciudadanía, lo que garantiza que la población responda a éste y otros dilemas futuros.

Palabras clave: *corresponsabilidad, cultura ambiental, difusión, sensibilización, reducción de residuos,*

1. Introducción

En este trabajo se expone de manera general el trabajo realizado por Desarrollo Integral Autogestionario DIA AC como una de las primeras organizaciones civiles ambientalistas en Morelos dedicadas a ofrecer alternativas para el bienestar humano y a la protección del medio ambiente. Esta ponencia aborda de manera somera la experiencia y logros ligados al Programa de Manejo Alternativo de los Residuos Sólidos Municipales (PROMAREMUN) que desde el año 2003 funcionaron en 6 municipios de Morelos y uno en Michoacán [1]. En otros municipios [2] donde también se promovió este programa, se redujo a la asesoría y cursos de capacitación en temas ligados al manejo de residuos domésticos, debido a la falta de la infraestructura necesaria por parte del municipio para su implementación. Así también se reflexiona la situación actual del manejo de los residuos ante las condiciones políticas, económicas y ambientales que vivimos actualmente.

La basura es uno de los problemas mas agudos de la sociedad moderna, mientras en 1989 se producían sólo en el Distrito Federal 15,000 tons/día [3], después de 26 años se recolectan 25,328 tons/día [4] en la Cd. y Estado de México, es decir que tomando en cuenta la zona conurbada de esta gran metrópoli ha aumentado casi el 70% la producción de residuos.

En las zonas metropolitanas de 2001 a 2011, el aumento ha sido de 26.83%, mientras en las ciudades medias 43.38% y localidades pequeñas o suburbanas 8.87% [5]. Esto requiere un análisis profundo tomando en

cuenta que un sector de la población tiende a aumentar su consumo y por tanto la producción de residuos sólidos.

Es muy loable la realización de este tipo de eventos, porque a pesar de lo grave del asunto no solo a nivel nacional sino mundial, hay muy poca investigación y menos resultados y propuestas concretas de solución al problema. Legalmente existe mucho pero poco cumplido, existen mas de 152 instrumentos internacionales para la protección del medio ambiente y después de casi 50 años de la primera ley ambiental en México, todavía la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente sigue dando definiciones de residuos [6].

El PROMAREMUN propone la separación de los mismos de acuerdo a sus materiales desde el lugar donde se producen y dirigido a quien los produce, es decir implica la sensibilización a los ciudadanos de la necesidad de entregar sus residuos domésticos a un camión que les recibe éstos de manera diferenciada, para que sean incorporados a procesos de reciclamiento, lo que implica la participación de las autoridades municipales. Este programa se basa en generar conciencia a la población con respecto a la producción de los residuos como resultado del consumismo, a la vez que permite incorporar su participación consciente en un problema grave actual, a la vez que abre perspectivas acerca de cómo podemos empezar a reducir la producción de los mismos.

En este trabajo se abordan también algunos de los retos más importantes que vemos ante la propuesta difundida por los gobiernos municipales de manejo de los residuos desde una perspectiva empresarial que elimina la responsabilidad ciudadana y por tanto la posibilidad de disminuir la producción de residuos por medio de una serie de cambios en la vida cotidiana y como parte de una conciencia ambiental.

El programa se basa en la corresponsabilidad entre gobierno y ciudadanía; la administración municipal designa a la ciudadanía como el principal actor, a partir del ejercicio de la responsabilidad que le compete como autoridad. En este caso la asociación civil (DIA A.C.) ha tenido un papel de asesor en su puesta en marcha, es decir su accionar se limita a la puesta en marcha del programa. Esta asociación civil pone en juego su experiencia en trabajo comunitario y manejo de los residuos, elaborando un plan a seguir de acuerdo a las condiciones culturales, económicas, ambientales, así como de infraestructura, de capacidades humanas y sociales en la población en cada municipio. Sin embargo resulta estratégica la decisión de las autoridades al asumir los embates que implica hacer cambios radicales en prácticas que deterioran el servicio de recolecta y atención a la ciudadanía, para lo que la determinación del presidente municipal como líder en este programa resulta fundamental para el logro de las metas propuestas.

2. Desarrollo del Programa de Manejo de Residuos Sólidos Municipales (PROMAREMUN)

2.1. Diagnóstico del manejo de los residuos sólidos municipales

El programa ha requerido de acuerdos firmados entre las autoridades municipales y la asociación civil, donde se comprometen a asumir los compromisos que surjan tanto de un diagnóstico previo como del ejercicio mismo del programa, siempre dentro de los principios de acción de ambas partes.

El diagnóstico se ha realizado a varios niveles, el primero sobre el manejo de los residuos que se lleva a cabo en cada municipio, en el se ve cómo se realiza la recolecta, su efectividad, los volúmenes y los tiraderos existentes. En este momento se detectan todas las oportunidades que tiene el municipio de acuerdo a los requerimientos del programa, tanto en recursos humanos y administrativos como en infraestructura. En un tercer nivel y no menos importante, se han realizado reuniones con los grupos existentes con influencia religiosa, de programas de desarrollo y asistencia, mismas que permiten identificar el capital humano y social con que se cuenta, formas de organización, prácticas e inquietudes de la población local.

Esta etapa implica también el conocimiento de las formas de trabajo que llevan a cabo las autoridades municipales, sus equipos de trabajo, sus reglamentos, tanto como sus alianzas con grupos y personajes que puedan apoyar el programa. Todas estas etapas muestran características muy peculiares en cada caso.

Al mismo tiempo, se llevaban a cabo acciones de investigación de las empresas comercializadoras de residuos reciclables, cercanas a las localidades y del centro de acopio del municipio para conocer qué residuos y en qué condiciones le interesa adquirirlos al comprador.

2.2. Formación del grupo de promotores

A partir de este diagnóstico, se inicia la planeación de las acciones. En primer lugar se llevan a cabo talleres de capacitación a quienes actuarían como promotores en la visita a las casas, quienes harán la labor de sensibilización a la población y darán la información necesaria para el nuevo manejo de la basura.

Estos promotores han trabajado en temas como la problemática ambiental a nivel mundial y nacional sobre todo en lo referente a la basura. Se trata de que ellos mismos, mediante metodologías participativas reconozcan su entorno, cómo se ha deteriorado y también su perspectiva de cómo quisiera que fuera. Cabe mencionar que generalmente los promotores son originarios de las localidades que existen en cada municipio, ya que esto permite una cercanía a la problemática y la retroalimentación de la información de los participantes en estos talleres, es decir se trata de un autodiagnóstico.

Es muy importante contar con el personal adecuado que sabrá brindar la sensibilización a la ciudadanía atendiendo sus inquietudes y compartiendo sus intereses, ofreciendo información certera y precisa acerca del problema de producción de residuos y su manejo. Por lo anterior se ha convocado a las escuelas de nivel medio superior y/o superior de la región, se llegan a acuerdos con las escuelas y en la medida de lo posible se elaboran playeras y distintivos para esta labor. Lo anterior resulta estratégico a fin de lograr la integración de las personas a este nuevo programa en el municipio. Lo anterior implica la definición de un logotipo para el programa mismo que servirá de distintivo para cualquiera de las acciones realizadas; su diseño representa un primer ejercicio de conjuntar visiones e imaginación.

En la medida de lo posible a estos talleres se convoca a las autoridades de servicios públicos, ecología y trabajadores de limpia pública del ayuntamiento a fin de ir conociendo algunas de las nuevas prácticas en la recolección. En algunos municipios se hicieron capacitación especial para este personal de acuerdo a sus propias necesidades e inquietudes. Ellos son los que directamente estarán en contacto diario con la población para la recolecta separada por lo que resulta fundamental su capacitación, lograr su sensibilidad y apropiación del programa para realizar su trabajo.

2.3. Generación de infraestructura y materiales

Los residuos reciclables no tienen un gran peso y representan principalmente volumen, por lo que se proyectó que el municipio requiere adaptar un vehículo recolector de 3 y media toneladas con una carrocería dividida en cuatro compartimientos. Esto es: para el plástico, cartón y papel, vidrio y latas y metales, considerando que ese es el orden de importancia en cuanto a volumen de cada residuo. En cada una de las experiencias se ha procedido a identificar mediante un logotipo propio de cada ayuntamiento y con los colores representativos de cada material.

Se han elaborado materiales de difusión que son entregados a la ciudadanía en la campaña de información y promoción del programa por medio de los promotores en el momento de visitar cada casa de las localidades del municipio. En hojas muy gráficas y que pueden ser colocadas en diferentes partes de la casa, se describe en un lenguaje sencillo y al alcance de toda la familia, con la intención de buscar la comprensión de cada uno de los conceptos.

Estas son: una donde se describen los tipos de residuos que se generan en cada casa, de esa manera se busca que se familiarizaran con los nombres de cada material así como los colores que indicaran su separación. Basándose en los artículos contenidos en el bando de policía y gobierno, cuando el municipio cuenta con éstos, se les informaba como debían de entregar sus residuos y desechos a partir de la fecha de inicio del programa en su lugar: plásticos, Cartón y papel, Latas y metales y vidrio

Otro material importante es una hoja donde de manera sencilla explica cómo elaborar una composta familiar, esto para disminuir la cantidad de residuos orgánicos que serían recogidos en el camión recolector de desechos sanitarios y lo no reciclable. Además de aprovechar la riqueza de la materia orgánica que se produce en cada casa, lo que representa más de la mitad de los residuos.

2.3. Campaña de información y sensibilización.

Una vez listas todas las condiciones anteriores, se puso en marcha la campaña de información y sensibilización a la población. Comenzó con actos oficiales en las plazas públicas de cada localidad y en la cabecera municipal, apoyados por las autoridades locales y aquellos grupos con los que se trabajó previamente. En estos actos se les informó los cambios en el manejo de la basura, se atendieron dudas y sugerencias, así también se promueve la participación de todas las familias.

Es importante reconocer que el programa funciona gracias a la participación de todas y todos, por lo que queda siempre abierta la posibilidad de vigilancia ciudadana al cumplimiento del nuevo manejo de los residuos sólidos.

En los días siguientes se inicia el recorrido a todas las casas y a todas las localidades del municipio, visitando un promedio de 3,000 casas en cada uno donde se ha trabajado. En estas visitas se entregan las hojas, donde se explica en qué consiste el programa y cómo se llevará a cabo, razones, ventajas y la invitación a integrarse activamente en esta nueva propuesta. En estas visitas se pretende que la gente no sólo tenga claridad sobre cuál es su tarea, sino la necesidad de formar parte del programa ante el aumento en la producción de residuos, las consecuencias que tiene el aumento de la basura. Por lo anterior resulta importante iniciar estrategias de reducción en la familia, es decir que el municipio no gana porque se produzca más, sino que todos tenemos ventajas cuando empiezan a reducirse y se aprovechan mejor. Eliminar esa idea de que “la basura es un negocio”.

Esta etapa se ha tenido siempre muy buena respuesta de la ciudadanía, ya que da la oportunidad de manifestar sus dudas con respecto a la gran cantidad de materiales que circulan como empaques de los productos que compramos. Es muy interesante reconocer que la mayor parte de la ciudadanía le interesa incorporarse al programa al comentar que este programa atiende el fondo del problema de la basura e incorpora a la ciudadanía como principal actor.

Al paso de los promotores a cada casa, también se levantaban quejas de la ciudadanía en relación al servicio de recolección pasada, lo que sirve para readaptar rutas y modalidades de recolección en cada caso en particular, se trata de que el programa brinde un mejor servicio.

2.4. Inicio de la recolecta separada

La recolecta separada da comienzo cuando las autoridades consideran que se ha hecho la difusión suficiente, en algunos casos se inició por partes, es decir primero en el centro, después en algunas colonias, barrios y localidades, hasta cubrir todo el municipio. Esta manera permite que la población se va enterando y ve la forma en que se concreta lo propuesto; así como también el personal de servicio de recolección municipal va adquiriendo experiencia y confianza en esta nueva forma de trabajo.

Las autoridades municipales prepararon eventos, en la mayoría de los casos invitando a instancias gubernamentales estatales y federales y de manera especial a la población. En este acto fueron presentados los nuevos camiones que darían el servicio de recolecta separada, mismos que describimos antes, que cuenta con cuatro separaciones para recolectar lo reciclable. La propuesta es que el paso del camión que recolecta lo que no se puede reciclar (por lo regular compactador de carga trasera) y el separador transitan de forma simultánea, de esa manera las personas sólo tienen que salir una vez a dejar basura y reciclables.

Idealmente esta acción ha sido apoyada por visitas frecuentes de los promotores, los cuales revisaron la forma en que estaban separando las personas y dando indicaciones para hacerlo bien, esta experiencia ha sido un factor fundamental para que la separación de los materiales sea más eficiente y la población tenga mayor confianza en su quehacer.

En el caso del municipio de Jantetelco por decisión de las autoridades los recursos generados por la venta de los residuos reciclables, fueron destinados a apoyar en materiales a las escuelas, de esta manera los ciudadanos ven reflejado su trabajo de separación en el beneficio a sus hijos.

2.5. Fortalecimiento del programa

Para el fortalecimiento del programa, se efectúan de manera permanente y en la medida de lo posible pláticas y reuniones en las escuelas, grupos de trabajo y de capacitación, e iglesias. Enfatizando la necesidad de ser ciudadanos responsables con la comunidad y con el medio ambiente.

Durante el 2005 existió un programa de intercambio entre escuelas: cuatro primarias de Bélgica y cuatro de Jantetelco, en el que los niños elaboraban cartas comentando la forma como se realiza la separación en sus localidades, entre otros temas propios de la niñez. Lo que ha permitido que los alumnos de estas escuelas, además de conocer otra cultura, se sientan motivados, pues en Bélgica realizan la separación pero con recursos económicos suficientes, mientras que en este municipio la inversión fue mínima se utilizaron recursos humanos y materiales que ya existían y se adaptaron al programa.

2.6. Acopio de residuos no domésticos

El programa debe atender otro tipo de residuos de mercados, establecimientos como rastros, talleres mecánicos, clínicas, entre otros; de la misma manera la producción de residuos de manera eventual como en el caso de fiestas, ferias y mercados itinerantes, asuntos prioritarios en un estado turístico como lo es Morelos.

Actualmente, se hacía un acopio de llantas, las cuales eran llevadas a la empresa Holcim-Apasco, en donde se utilizan como combustible para sus hornos, los cuales cuentan con filtros para evitar contaminación. Hasta la fecha este sigue siendo el destino final de llantas más viable, ya que existe un aprovechamiento marginal en artesanías que tiene todavía un mercado muy pequeño.

El centro de transferencia o acopio de residuos es una parte central del programa que se debe cubrir con ciertas características. Este se destina para reclasificar los residuos reciclables ya que, para obtener una mejor valorización de los mismos, deben de entregarse al comercializador de manera clasificada.

3. Resultados

3.1. La solución desde una nueva cultura ambiental

El programa se propone como meta dar una solución total y definitiva al problema de la basura, su generación, un buen servicio de recolecta y una disposición final lo mas regulada posible. Espera contribuir a la cultura ambiental de la población que se refleje a todos los niveles, es decir cuidado del agua, suelo, cubierta vegetal, así como el cuidado de especies de plantas y animales en peligro de extinción, entre los

principales. Sin embargo tenemos claro que esto no depende de voluntad del presidente municipal o de un equipo de trabajo, sino de un trabajo de difusión y acciones concretas que se encaminen hacia estos objetivos; depende también de todos los actores y la dinámica social imperante, los canales de comunicación y la cohesión social existente en el lugar. El programa se centra en objetivos muy concretos como es la capacitación a los agentes de cambio, al buscar que esto se vea reflejado principalmente en la calidad de vida, mejoras en el ambiente y la calidad de los recursos.

El manejo y disposición final de los residuos sólidos es por ley una obligación de los municipios, sin embargo las administraciones no cuentan muchas veces con recursos ni alternativas que puedan solucionar este problema, mismo que va creciendo junto con la difusión de una vida de consumo. Lo anterior acarrea desconcierto de los pobladores al tener una gran cantidad de basura en sus localidades difícil de controlar y ocasionando una serie de consecuencias no solo de contaminación sino también económicas. Esto quiere decir que es un problema sentido, visible y preocupante para la ciudadanía; esta idea es la base que fundamenta el PROMAREMUN.

Se pretende que cada familia pueda realizar un acopio de sus residuos reciclables mismos que idealmente pueden empezar a reducirse. Lo anterior quiere decir que el problema no se acaba con separar y reciclar sino en generar una cultura que tienda a disminuir la producción de los mismos, por medio de un consumo más consciente, la búsqueda de envases duraderos y un consumo reflexivo que promueva por ejemplo, la economía local, entre otras cosas. Como plantea la Economía Ecológica, es imposible el reciclaje total, ya que éste genera pérdida de energía, lo que a largo plazo justifica la necesidad de límites al crecimiento económico [7].

Por lo anterior la sensibilización implica un trabajo constante y la cercanía con los grupos de trabajo que tienen una influencia en la población local, acerca de la problemática de basura que se vive actualmente, así como de alternativas para reducir la producción de los mismos. El programa debe abarcar los diferentes sectores sociales, lo que tiende a garantizar su integración como parte del programa; es necesario retomar opiniones ciudadanas y apoyar iniciativas propias, buscar opciones organizativas para el ahorro de ciertos materiales y reducir el consumo, entre otras cosas; a la vez que las autoridades reconozcan la importancia de la contribución de la población al cumplimiento de los objetivos del programa.

La experiencia en los municipios que concretaron la separación, recolecta, acopio y destino final de los residuos de manera controlada, la aceptación de la ciudadanía fue total. No existían quejas importantes del programa, los ciudadanos mostraron empeño en la separación y entrega de los mismos, dieron sugerencias y promocionaron el programa entre sus vecinos, así contribuyeron de manera importante en la difusión de las bondades del mismo.

En el caso de Jantetelco y Atlatlahucan se realizaron encuestas dirigidas a la población a los 3 años y al año de operación del programa, respectivamente. En ésta se le preguntó a la población si estaban de acuerdo en continuar separando sus residuos y si el programa debería de continuar, en ambos casos más del 95% contestó afirmativamente, lo que sirvió de base para exigir a las siguientes administraciones la continuación del programa.

3.2. Disposición final de los residuos sólidos municipales

El tiradero que existía en Jantetelco fue clausurado y a partir de entonces se inicia un proceso de regulación, idealmente con un relleno sanitario. En Jantetelco [8] y Jonacatepec [9] como resultado del programa se elaboraron reglamentos ambientales a nivel municipal, publicados en el Diario Oficial del Estado de Morelos, lo que les ha permitido contar con los mecanismos legales para el programa de separación desde las casas. En el caso de Jonacatepec sólo depende de las posibilidades de hacerlo efectivo con la participación ciudadana.

En otros municipios las clausuras de los tiraderos abiertos estuvieron lejos de cumplirse debido a la imposibilidad de las autoridades municipales de contraponerse a los intereses de otros sectores de la población, empresarios dueños del negocio de la basura. En estos casos los tiraderos a cielo abierto continuaron sin ninguna clase de control, con el consabido problema de contaminación de la tierra, aire y agua, además de incendios, la aspiración por los habitantes de diversos gases, presencia de animales indeseables, entre otras afectaciones a la población. Sin embargo aún en estos casos la reducción de los residuos entregados en estos tiraderos se redujo considerablemente.

En algunos casos los municipios vecinos contaban con rellenos sanitarios y mediante convenios se acordaba llevar los desechos a estos rellenos, mismos que idealmente tenían un funcionamiento regulado, a fin de mantener la congruencia del programa, es decir dejar de usar los tiraderos a cielo abierto. Generalmente en los municipios donde se trabajó no se cuenta con una alternativa sustentable para los residuos sanitarios.

Con la instalación del programa se incrementó la cobertura de recolecta de residuos y basura en las casas, ya que se busca tener un mejor servicio de limpia pública y de esa manera se buscaba tener el respaldo ciudadano al resolverle un problema cotidiano. Se logró con esto disminuir la basura que los habitantes y turistas depositan ocasionalmente en lugares impropios, inundaciones y contaminación de corrientes superficiales de agua.

Con respecto a los volúmenes recuperados de residuos sólidos reciclables, como ejemplo un promedio en el municipio de Jantetelco[10], durante los años 2004 y 2005 muestra el resultado donde la ciudadanía fue adquiriendo poco a poco mayor conciencia de su responsabilidad, lo que se traduce en una mejor separación en las casas y aumento del acopio de residuos sólidos. El aumento del acopio durante el funcionamiento del programa son considerables: en el cartón y papel el aumento fue de un 260%; en Latas y metales aumentó el 314%; en el vidrio fue del 143% y en el plástico aumentó un 125%. Cabe aclarar que Jantetelco tenía una población de 15 mil habitantes en el año de la implementación del programa. Aunque el proceso es paulatino se puede decir que también hay una reducción considerable de la basura en la calle y una mayor conciencia en el caso de la basura ocasional en lugares de reunión como tianguis y en fiestas.

Esto significó una entrada mensual (después de los gastos de operación del programa) de aproximadamente lo mismo a el salario pagado en ese momento a un director de área en la administración municipal, lo se utilizó para la compra de pizarrones, balones, papelería y pintura en las escuelas de ese municipio. Si bien no es una cantidad suficiente para ser un programa autofinanciable, se puede decir que el principal objetivo es ambiental no económico, de ahí la importancia de contar con una administración responsable y capaz de asumir el reto de cambiar hábitos de consumo y dinámicas de participación social.

3.4. Logros y retos

El municipio de Jantetelco es representativo de la puesta en marcha de este programa, ya que desde el inicio de operaciones (2004), hasta la actualidad sigue funcionando, ya han pasado cuatro administraciones municipales. A pesar de algunos problemas en ciertos períodos para la puesta en marcha del mismo desde el ayuntamiento, la población de este municipio se ha involucrado de tal manera que ha defendido la continuidad del mismo a pesar del cambio de autoridades, considerando siempre los beneficios que representa para ellos un programa de este tipo.

Podemos apuntar como otros logros del programa la generación de empleos con características incluyentes, pues generalmente para el centro de acopio han sido contratadas personas que pueden ser con capacidades diferentes y de la tercera edad.

Por otro lado se contribuye al mercado local apoyando cada vez más a las empresas que comercializan los residuos reciclables. Como ha sido evidente, paulatinamente hemos visto cómo este tipo de empresas han crecido y muchos materiales reciclables empiezan a ser valorizados por la industria, asunto que trae como

consecuencia que la población realice la comercialización de manera directa, sin embargo el proceso de reciclamiento está garantizado y el programa cumple sus objetivos.

La forma como se han evaluado los logros de este programa en los diferentes municipios, es que el PROMAREMUN al manejar los residuos con responsabilidad para detener el deterioro ambiental está asumiendo cabalmente las disposiciones de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos a la vez que es flexible y se adapta a las condiciones particulares de cada municipio. Aprovecha las oportunidades que existen de recursos humanos y materiales y produce entradas económicas al municipio, por lo que no representa gastos onerosos a las administraciones municipales que lo adoptan.

Por otra parte es innovador, permite solucionar problemas públicos con un sentido de corresponsabilidad entre la ciudadanía y las autoridades, asumiendo cada uno su responsabilidad. Es incluyente, pues tiene posibilidades de participar la sociedad civil organizada a diferentes niveles y áreas, la ciudadanía y el gobierno municipal.

Genera cultura, los ciudadanos aprenden valores de respeto a nuestro medio ambiente y a sus conciudadanos. En este sentido trasciende, ya que le proporciona a la administración municipal un carácter de vanguardia principalmente con la población que sirve, pero también de compromiso político, imagen y proyección al futuro, tanto al interior del país como fuera de él.

En términos cotidianos la separación permite un manejo más aseado dentro de las casas y una mejor imagen a los pueblos, muchos de ellos mágicos, lo que representa además una mejora económica.

Otra enseñanza es la incorporación de diferentes sectores de la población con sus autoridades a nivel civil y agrario, población en colonias y unidades habitacionales, maestros, alumnos, deportistas, taxistas, comerciantes, entre otros. En el programa se integran una gran diversidad de ciudadanos que participaron de manera entusiasta al ser tomados en cuenta como integrantes del cambio. Un logro importante es la confianza que adquiere la ciudadanía con sus autoridades, ya que es un programa donde todos tienen la oportunidad de participar y visualizar su desarrollo. Esta es la manera como la participación de la población en el manejo de los residuos puede contribuir a la construcción de ciudadanía por medio de acciones corresponsables en temas que nos afectan.

Siempre y cuando se de una información certera, oportuna, adecuada a la cultura local, respetuosa, se reconozcan los problemas sentidos y en la medida de lo posible se ofrezcan alternativas. Se mejore el servicio, se garantizará la participación y el logro de los objetivos propuestos.

Los municipios donde se ha implementado el PROMAREMUN contaron con la asesoría de Desarrollo Integral Autogestionario, Asociación Civil, que tiene una experiencia de más de 20 años en el trabajo ambiental y que maneja esta propuesta con el fin un mejoramiento de la calidad de vida, desarrollo autogestivo y de Derechos Económicos, Sociales, Culturales y Ambientales (DESCA) de los habitantes.

4. Conclusiones

Consideramos que el PROMAREMUN atiende para resolver el problema de los residuos desde el origen, al poner en cuestionamiento el modelo actual de consumo y al contribuir en el reconocimiento de la capacidad organizativa, corresponsable y autogestiva de la ciudadanía. Que en la medida en que se le da a la población la oportunidad de actuar en la solución de un problema concreto, respetando sus características culturales, con información pertinente y un esquema de funcionamiento adecuado, la población responde en éste y otros dilemas. El programa requiere actualmente de una revisión y evaluación, considerando que puede ampliar sus metas e indicadores de éxito, así como considerar cambios a la luz de nuevas condiciones políticas y ambientales.

Aunado a las acciones permanentes de fortalecimiento del programa en las que se incluyen la educación sobre diversos temas ambientales y la separación de la basura, el programa debe conjuntarse con una difusión de los principales problemas que aqueja el medio ambiente en la región, el municipio y las localidades. Esto requiere de la integración de comités y personalidades del lugar que sean capaces de actuar a favor de la defensa de sus recursos con el conocimiento de la historia del territorio.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [11], tanto como la Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Morelos [12] reconocen la posibilidad de realizar este tipo de programas, sin embargo su planteamiento en la mayor parte de los municipios es interpretado por las autoridades, como responsables del manejo de los residuos, de tal manera que implique la menor carga posible tanto de trabajo como económica. En estas condiciones se tiende a dar la concesión en la recolección de los residuos a empresarios de la basura, lo que hace que la basura se convierta en un negocio, en que se gana mas dinero por contaminar, por el trato injusto a los trabajadores y en aumentar la producción de los residuos, es decir, sin ningún compromiso ambiental ni social.

Todo lo señalado en este trabajo se da a pesar de ciertas condiciones políticas, económicas y ambientales no tan favorables para el desarrollo de la conciencia del cuidado de los recursos naturales y la vida humana, como es el hecho de que las autoridades se alían a los empresarios para hacer de la basura un negocio y esto principalmente ante la crisis económica que viven algunos de municipios; en la medida en que la recolecta de la “basura” representa mayores problemas para estas autoridades prefieren desligarse irresponsablemente de este tema. Las propuestas que abundan son propuestas caras y no autosuficientes, ya que dependen de energía de luz, trabajo y maquinaria, lo cual resulta incongruente cuando quien produce esos residuos se puede hacer cargo de la separación, limpieza y empaque de los mismos.

Las experiencias de manejo de los residuos de las que hemos sido testigos en otros municipios consideramos que han sido mal diseñados en cuánto al tipo de material de difusión dirigido a la ciudadanía y las estrategias, además de que no consideran las posibilidades de responsabilidad que la ciudadanía debe asumir. Por que lo que nos interesa que este diseño y las experiencias vividas en el PROMAREMUN sean conocidos a detalle por sectores comprometidos y sea replicado tanto como perfeccionado de acuerdo a mejores y más amplias perspectivas.

A pesar de que exista el interés de la ciudadanía a desarrollar o darle continuidad a este programa en su municipio, los cambios de administración municipal generan ruptura y poco avance con lo logrado. Si cada una de estos períodos se dedicaran a buscar la integración comunitaria en proyectos de este tipo, la población se encargaría de dar continuidad y defender lo que ha visto como una alternativa real a un problema sentido.

Podemos concluir que se requiere voluntad política y congruencia de nuestros gobernantes, una participación mas activa de la sociedad y aprovechar las instancias de inclusión que existen. Consideramos que es importante que además de que tienen la responsabilidad del manejo de residuos las administraciones municipales cuenten con apoyo estatal y federal, así como la capacitación suficiente en este tipo de temas para asumir la responsabilidad integralmente, como parte de la gestión ambiental; que promuevan la separación de residuos desde los hogares y la participación ciudadana en este tema central para la sobrevivencia y la calidad de vida, que incluye la convivencia armónica con la naturaleza.

Agradecimientos

Agradecemos ampliamente a las administraciones municipales de Jantetelco, Zacualpan de Amilpas, Jonatepec, Tetecala, Tepoztlán, Atlatlahucan, Axochiapan y Temixco en el estado de Morelos; Salvador Escalante en Michoacán y El Sauzal en Ensenada Baja California.

Agradecemos a todas las mujeres y hombres de estos municipios que con su ánimo, inquietudes y sugerencias fue posible adecuar el programa a sus necesidades y preocupaciones; porque aprendimos mucho

de sus localidades y sus problemas. A todas las autoridades civiles y agrarias que siempre estuvieron dispuestas a apoyarnos en la difusión de los objetivos y logros del programa en sus localidades. Agradecemos a todos los grupos de trabajo que destinaron tiempo para promover el programa, hicieron aportes y nos acompañaron a las visitas.

Gracias al apoyo de todos Uds. el programa formó parte de la vida de sus habitantes y lo hicieron suyo, esperamos que hayamos dejado la semilla para la reducción de residuos domésticos y de la importancia de su participación.

Referencias

- [1] Jantetelco, Zacualpan de Amilpas, Jonatepec, Tetecala, Tepoztlán y Atlatlahucan en el estado de Morelos y Salvador Escalante en Michoacán.
- [2] Axochiapan y Temixco en Morelos y en el municipio de El Sauzal en Ensenada Baja California.
- [3] Deffis Caso, Armando (1989). La Basura es la solución. Ed Concepto, México. p. 79
- [4] INEGI, Cuéntame: Territorio, Población y Economía. Consultado el 28 de junio, 2016, disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/ambiente/basura.aspx?tema=T>
- [5] Gutiérrez P. Constantino. Problemas y soluciones en el manejo de los residuos sólidos en México. Semana Verde UNAM, consultado el 28 de junio 2016, disponible en: <http://docplayer.es/13378523-Semana-verde-problemas-y-soluciones-en-el-manejo-de-los-residuos-solidos-en-mexico-constantino-gutierrez-p.html>
- [6] Ojeda Mestres, Ramón. El derecho ambiental del siglo XXI. Revista electrónica de derecho ambiental. Consultado el 28 de junio de 2016. Disponible en: http://huespedes.cica.es/gimadus/09/dcho_amb_XXI.htm
- [7] Mansilla, Diego s/f. Georgescu-Roegen: La entropía y la economía. (Cátedra Sistemas Económicos Comparados, F.C.E. U.B.A.) Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- [8] Diario Oficial “Tierra y Libertad”, Gobierno del Estado de Morelos (2005) Reglamento para la Protección al Ambiente y la Preservación Ecológica del Municipio de Jantetelco, Morelos. 4406 (10 de agosto 2005).
- [9] Diario Oficial “Tierra y Libertad”, Gobierno del Estado de Morelos (2008) Reglamento para la Protección al Ambiente y la Preservación Ecológica del Municipio de Jonacatepec, Morelos. 4638 (28 de agosto 2008).
- [10] En la administración del presidente municipal José Guadalupe Ambrocio Gachuz (2003-2006) en el municipio de Jantetelco.
- [11] Diario Oficial de la Federación (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Tomo DCI: 6, (8 de octubre 2003, última reforma 22 de mayo 2015).
- [12] Diario Oficial “Tierra y Libertad”, Gobierno del Estado de Morelos (2007). Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Morelos. Sección segunda: 4561 (17 de octubre 2007).

SECCION 6
TECNOLOGÍAS
PARA EL MANEJO
DE RESIDUOS
SÓLIDOS

Estudio de variabilidad de la producción de biogás utilizando diseño de experimentos

¹Quetzalli Aguilar-Virgen, ¹Paul A. Taboada-González, ¹Mydory O. Nakasima-López, ²María Elizabeth Ramírez-Barreto, ²Sara Ojeda-Benítez,

¹Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad #14418, Parque Industrial Internacional Tijuana C.P. 22390, Tijuana, México, e-mail: qaguilar@uabc.edu.mx

²Universidad Autónoma de Baja California. Calle de la Normal S/N y Blvd. Benito Juárez, Col. Insurgentes Este Mexicali B. C.
^{1,2} Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a los Residuos Sólidos, A. C (SOMERS)

Resumen

El biogás generado en un relleno sanitario (RESA) puede ser utilizado para producir energía eléctrica y su proyección puede ser calculada a través de diversos modelos de predicción de generación de biogás. Sin embargo, las variaciones en los componentes del biogás, influyen en el potencial de aprovechamiento para generación de energía eléctrica. Por ello, es de vital importancia conocer con menor grado de incertidumbre este indicador. El objetivo de este estudio fue analizar la variabilidad existente en el porcentaje de los principales elementos del biogás generado en el RESA de la ciudad de Ensenada, México. Las mediciones de biogás se hicieron durante un periodo de tres meses. Se tomaron aproximadamente 82 mediciones semanales usando el GEMTM2000 en cuatro pozos del RESA. Para identificar si existe variación estacional, se aplicó un diseño de experimentos por bloques completos aleatorizados, y en la determinación de la variación por pozos se utilizó un diseño completamente al azar con un solo factor. Se empleó el programa estadístico MINITAB® 16 considerando una confiabilidad del 95%. La composición promedio del biogás fue de 45% de metano, 35% de dióxido de carbono, 4% de oxígeno y 16% de nitrógeno. En general, no existe diferencia significativa en las temporadas prevaletentes de los gases principales del biogás del RESA. Sin embargo, si existe diferencia significativa entre los pozos en cada uno de los meses muestreados. Los resultados de esta investigación coadyuvan en la toma de decisiones para proponer planes de manejo integral de residuos en el que se incluya la generación de energía con biogás.

Palabras Clave: *aprovechamiento de residuos, biogás, relleno sanitario, residuos sólidos*

1. Introducción

El desarrollo de las sociedades modernas en el mundo impacta directamente en el ambiente. Las actividades de producción de materias primas, procesos de fabricación, almacenamiento, servicio, reparación y mantenimiento de bienes requieren de energía eléctrica y generan flujos de residuos sólidos (RS) que deben ser aprovechados o dispuestos adecuadamente para evitar contaminación.

Actualmente, la generación de electricidad en gran parte de los países del mundo se hace empleando combustibles fósiles. Esta situación a futuro es insostenible debido a que estos recursos (petróleo, gas natural, carbón) son finitos y sus procesos de extracción son altamente contaminantes. Por tanto, para asegurar el suministro de la energía eléctrica y cubrir la demanda energética futura de una forma menos agresiva para el ambiente, es necesario desarrollar nuevas formas y estrategias de generación.

La energía alterna podría ser generada con residuos sólidos urbanos, ésta se puede recuperar a través de dos mecanismos: 1) a través de su incineración y 2) recolección de biogás. Está ampliamente reconocido que el biogás proveniente de los rellenos sanitarios (RESA) es una fuente potencial significativa de energía.

Antecedentes del biogás en los rellenos sanitarios

Un RESA es generalmente conceptualizado como un reactor bioquímico, en el cual los residuos y el agua son los principales insumos, mientras que el biogás y los lixiviados son los principales productos [1]. El biogás de un RESA es el resultado biológico de la descomposición anaeróbica de los materiales orgánicos

depositados [1]-[3]. Los principales componentes presentes en el biogás son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2), y varios otros compuestos traza [1]-[2], [4].

El metano puede ser aprovechado de diversas formas y su utilización conlleva ventajas. Por ejemplo, puede ser utilizado para la generación de electricidad, como combustible para el transporte, y su utilización directa en calderas. Las principales ventajas son la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (25 veces más potente que el CO_2), reducción de riesgo de fuego y explosión dentro de los rellenos [2], [5]-[9].

A nivel mundial, los RESA's representan la tercera fuente más grande de emisiones antropogénicas de metano, lo que constituye aproximadamente el 13 por ciento o más de las emisiones mundiales de metano [8], [10]-[11]. Esto tiene importancia significativa para la toma de decisiones, porque la implementación de cualquier política para reducir el metano podría tener impactos inmediatos en las emisiones de gases de efecto invernadero y los beneficios de las iniciativas aparecerían en el corto a mediano plazo [12].

Para su recuperación el biogás se extrae de los rellenos usando una serie de pozos y un sistema de vacío, el cual dirige el biogás recolectado a un punto central para su procesamiento [5], [8]. Antes de usar el biogás en un proceso de conversión, debe de ser tratado para remover cualquier condensado, partículas y otras impurezas. El tratamiento depende de la aplicación final. En general, se debe de procesar el biogás para separar toda la humedad posible y si es necesario, aplicar una serie de filtros para remover impurezas. Si el biogás contiene sulfuro de hidrogeno (H_2S), la temperatura de combustión debe controlarse cuidadosamente para evitar problemas de corrosión. Alternativamente, se puede reducir o eliminar pasando el biogás a través de una depuradora que contiene limaduras de hierro, para separar el H_2S antes de quemar el biogás. El dióxido de carbono (CO_2) también se debe remover. La separación de CO_2 y de CH_4 puede realizarse mediante absorción física, absorción química, y mediante separación por membrana [3], [9], [13]-[14].

Los parámetros de generación de biogás pueden ser obtenidos siguiendo diferentes estrategias, tal como la predicción teórica, experimentos en laboratorios y el de mejor ajuste análisis de recuperación de biogás del relleno real [1]. Las variaciones en los componentes del biogás, producido en los rellenos sanitarios, influyen en el potencial de aprovechamiento para generación de energía eléctrica. Por ello, es de vital importancia conocer con menor grado de incertidumbre este indicador.

El objetivo de esta investigación fue analizar *in situ* la variabilidad existente en el porcentaje de los principales elementos del biogás generado en el relleno sanitario de la ciudad de Ensenada, México.

2. Metodología

El estudio se llevó a cabo en el relleno sanitario (RESA) de la ciudad de Ensenada, Baja California, México. El RESA de Ensenada se encuentra ubicado a los $31^{\circ}53'00''$ latitud Norte y $116^{\circ}29'50''$ longitud Oeste. La precipitación promedio anual histórica de Ensenada es de 250 mm, con un clima mediterráneo, temperatura templada la mayor parte del tiempo y lluvias principalmente en invierno.

En las lecturas realizadas en el RESA de Ensenada, se utilizó el equipo denominado GEMTM2000 (ver Figura 1) diseñado por LANDTEC, dicho instrumento se utilizan específicamente en RESA's para controlar los sistemas de extracción de biogás de relleno sanitario (LFG), las antorchas y los sistemas de control de migración. El instrumento obtienen muestras y analizan el porcentaje contenido de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O). Las lecturas se visualizan en el instrumento y se pueden almacenar en la memoria o descargar en una computadora personal para generar informes, análisis y registros.



Figura 1. Analizador y monitor de extracción de gas GEM™2000

En cada punto de muestreo establecido, el equipo GEM™2000 calcula el flujo de biogás, la temperatura, las presiones estática y diferencial, y el contenido calorífico de cada muestra. En el sitio, el GEM™2000 se conecta al cabezal Accu-Flo 2V de LANDTEC para poder llevar a cabo las lecturas (ver Figura 2) al cabezal se le acoplo un reductor de 160x110 mm.



Figura 2. Cabezal Accu-Flo 2V

Se realizaron lecturas en 4 de los 12 pozos instalados durante 7 días de tres meses (septiembre, octubre y noviembre) a la misma hora aproximadamente. Se tomaron en promedio tres lecturas por pozos en el transcurso del día en el RESA. Los resultados de las mediciones fueron registrados en el Software DataField CS version 3.02L. La base de datos contiene: 1) Porcentaje de composición del biogás (CH₄, CO₂, O₂ y N₂), 2) Flujo, 3) Presión estática y dinámica, 4) Temperatura, y 5) Poder calorífico.

2.1. Análisis estadístico de los valores de los componentes del biogás

2.1.1. Diseño de experimentos por Bloques Completos Aleatorizados (DBCA)

Para identificar con mayor certidumbre si realmente existe diferencia significativa en las diferentes estaciones climáticas, se realizó un Diseño de experimentos por Bloques Completos Aleatorizados (DBCA) en los gases principales del biogás (CH₄, CO₂, O₂ y N₂) del RESA en tres meses en la ciudad de Ensenada (verano: septiembre, mes de transición: octubre, invierno: noviembre). Hay una observación promedio por tratamiento en cada bloque, y el orden en que se corren los tratamientos dentro de cada bloque se determinó al azar. Los meses se consideraron como los tratamientos y los pozos los bloques. Para el análisis se utilizó el programa estadístico MINITAB® 16 con una confiabilidad del 95%.

El modelo estadístico del DBCA puede escribirse como lo muestra la ecuación 1

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, a \text{ y } j = 1, 2, \dots, b \quad (1)$$

donde μ es la media global, τ_i es el efecto del tratamiento i-ésimo, β_j es el efecto del bloque j-ésimo y ε_{ij} es el término del error.

2.1.2. Diseño de experimentos con un solo factor (DCA)

Para determinar si existe variación por los pozos se utilizó un diseño completamente al azar con un solo factor (DCA) en los gases principales del biogás (CH_4 , CO_2 , O_2 y N_2) del RESA. En este diseño se tiene como tratamiento los diferentes pozos (cuatro), de un solo factor (cada uno con los principales gases) que quieren compararse. El promedio de la composición por día fue considerada como las réplicas en cada observación. Este método se utilizó en cada mes muestreado. Para el análisis se utilizó el programa estadístico MINITAB® 16 con una confiabilidad del 95%.

El modelo estadístico del DCA puede escribirse como lo muestra la ecuación 2

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, a \text{ y } j = 1, 2, \dots, b \quad (2)$$

donde μ es un parámetro común a todos los tratamientos al que se llama la media global, τ_i es un parámetro único del tratamiento i-ésimo al que se le llama el efecto del tratamiento i-ésimo, y ε_{ij} es el término del error.

3. Resultados y Discusión

Debido a la disponibilidad de acceso a los pozos de venteo solamente se muestrearon 4 de los 12 instalados hasta el momento, aproximadamente 82 mediciones semanales, en total se tomaron 247 lecturas en los tres meses. En la Figura 3 y 4 se muestran los porcentajes promedios mensuales obtenidos durante el monitoreo de biogás llevado en el RESA de Ensenada. Se puede apreciar que el pozo tres tiene una mayor concentración de metano, este presenta una disminución en el mes de octubre que es cuando empezó a cambiar el clima de Ensenada. Sin embargo, vuelve a aumentar en el mes de noviembre cuando la temperatura casi no tenía variabilidad. Los niveles bajos de metano son el producto de la intrusión del oxígeno dentro del pozo, lo que concuerda con lo expuesto por Rada et al. [4].

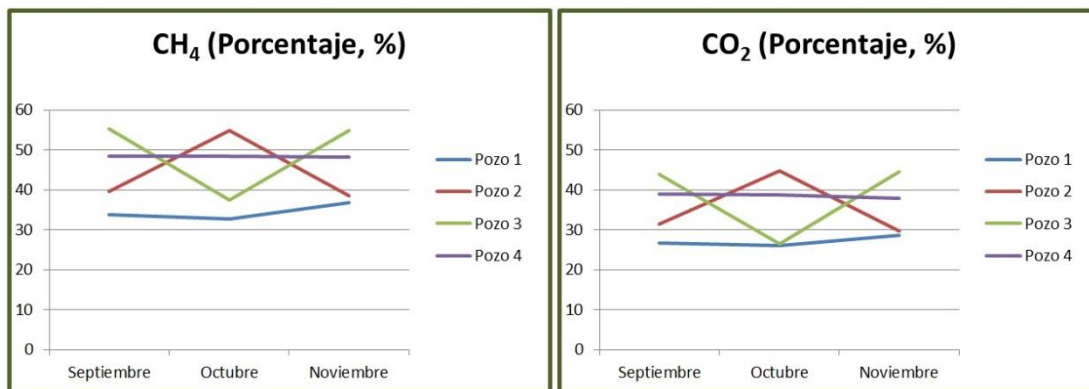


Figura 3. Porcentajes promedio de CH_4 y CO_2 del RESA de Ensenada, México

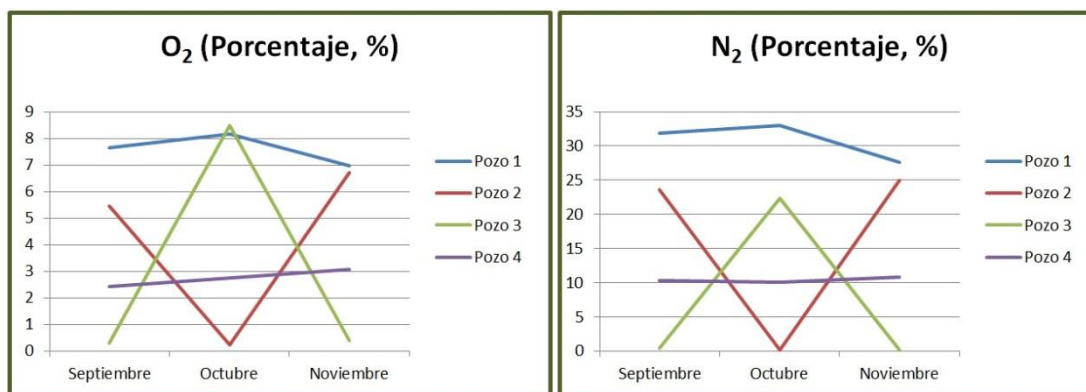


Figura 4. Porcentajes promedio de O₂ y N₂ del RESA de Ensenada, México

En las figuras anteriores se puede observar que la composición promedio del biogás fue de alrededor del 45% de CH₄, 35% de CO₂, 4.21% de O₂ y 16% de N₂. A pesar de tener concentraciones aceptables de CH₄ y CO₂, se debe resaltar que el relleno tiene en funcionamiento solamente 5 años y hasta el momento se han clausurado 2 celdas de las 16 que se tienen proyectadas.

En la Tabla 1 se puede apreciar la temperatura promedio obtenida en cada uno de los pozos en los diferentes meses, así como la presión y las diferencias entre las mediciones de flujo y potencial calorífico, en donde la lectura directa del analizador y monitor de extracción de biogás se denominan de inicial y ajustada; esta última que se refiere a los promedios de varias lecturas a lo largo de las mediciones. La producción de biogás promedio ajustada es de aproximadamente 13.86 m³/h, con un potencial calorífico promedio de 63.85 kW y una temperatura oscilando en los 40°C.

Tabla 1. Promedio de muestras de biogás del RESA de Ensenada, México

Mes	Pozo	Temp. (°C)	Presión (mb)		Flujo de biogás (m ³ /h)		Potencial calorífico (kW)	
			Est.	Dif.	Ini.	Ajus.	Ini.	Ajus.
Sept.	1	32.84	0.09	0.10	11.58	11.62	37.13	37.29
	2	38.33	0.24	0.20	15.94	16.00	66.43	66.57
	3	45.80	0.18	0.16	13.95	14.01	81.00	81.14
	4	41.26	0.16	0.14	12.41	12.50	60.17	60.87
Oct.	1	31.69	0.08	0.10	11.80	11.88	41.44	41.88
	2	45.88	0.25	0.21	17.12	17.13	98.57	98.52
	3	36.91	0.17	0.15	14.65	14.60	59.85	59.57
	4	41.26	0.03	0.06	9.55	9.98	49.22	51.41
Nov.	1	30.67	0.19	0.16	14.82	14.85	56.17	56.33
	2	34.31	0.23	0.18	16.16	16.18	63.58	63.67
	3	44.49	0.24	0.17	15.75	15.76	90.64	90.55
	4	39.14	0.10	0.10	11.74	11.78	58.22	58.44

3.1. Análisis estadístico de los valores de los componentes del biogás

3.1.1 Diseño de experimentos por Bloques Completos Aleatorizados (DBCA)

Los resultados de los diseños de experimentos realizados comparando las estaciones climáticas y la variación por pozo se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. P-Values del DBCA para los componentes principales del biogás

Componente del biogás	Tratamiento (Estaciones climáticas)	Bloque (Pozos)
CH ₄	0.976	0.196
CO ₂	0.966	0.305
O ₂	0.922	0.351
N ₂	0.996	0.143

Como se puede observar, los *p-value* del análisis son mayores al valor de $\alpha = 0.05$ lo que indica que no existe diferencia significativa en los principales gases (CH₄, CO₂, O₂ y N₂) que componen el biogás entre las estaciones climáticas de Ensenada. Esto significa que el porcentaje de biogás promedio generado en los diferentes meses tienden a ser similares. Respecto al factor de bloqueo “pozos”, se puede observar que el valor promedio mensual de generación porcentual no tiene una diferencia significativa.

3.1.2 Diseño de experimentos con un solo factor (DCA)

Los resultados de los diseños de experimentos realizados más a detalle para comparar si existe variación entre los pozos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados del DCA con el estadístico de prueba F-Fisher

Componente del biogás	Tratamiento (Pozos)		
	Septiembre	Octubre	Noviembre
CH ₄	73.39	46.33	17.71
CO ₂	109.61	18.21	23.85
O ₂	82.56	12.38	20.31
N ₂	84.51	32.25	20.01

Se observa que existe diferencia significativa en los principales gases (CH₄, CO₂, O₂ y N₂) respecto a los pozos que se muestrearon en cada uno de los meses en el RESA de Ensenada. Esto significa que el porcentaje de biogás promedio diario generado en los diferentes pozos son diferentes entre sí. Es importante mencionar que las profundidades de los pozos muestreados son diferentes, por lo que esta diferencia puede ser atribuida a esta condición.

Diversos estudios reportan monitoreo de gases en diferentes periodos y con diferentes duraciones a los reportados en el presente estudio, por lo que no se puede establecer una comparación confiable [15] – [19]. Los estudios realizados en México no siguen la misma metodología, ni utilizan el mismo modelo matemático de biogás, por lo que es importante estandarizar criterios para poder realizar comparaciones válidas respecto a la evaluación de recuperación de biogás [20].

4. Conclusiones

Las mediciones *in situ* del biogás generado en los sitios de disposición final ayudan a proyectar de manera más certera la generación de biogás y de esta forma poder aprovechar este recurso para generar energía. Esto debido a que la estimación inexacta de la tasa de generación de biogás de un relleno sanitario puede llevar a la instalación de un costoso e innecesario sistema de recolección de biogás de un relleno sanitario.

Respecto a los análisis estadísticos se puede concluir que no existe diferencia en la generación de biogás debido a las estaciones climáticas que se encuentre la ciudad, pero la generación si cambia de acuerdo a la profundidad que exista del pozo.

Con los porcentajes de metano y dióxido de carbono que se reportaron, se puede realizar estudios de factibilidad de recuperación de biogás para la generación de energía, con ello se podría utilizar lo que ya se denomina inutilizable y cuidar los recursos con los que se cuentan.

5. Agradecimiento

Los autores desean agradecer el apoyo económico otorgado a través de la Integración de Redes Temáticas de Colaboración Académica de PRODEP 2015.

6. Referencias

- [1] Machado, S.L. Carvalho, M. F., Gourc, J., Vilar, O. M., y Nascimento, J. C. D. (2009) Methane generation in tropical landfills: Simplified methods and field results. *Waste Management*, 29(1), 153-161.
- [2] Marshall, A. (2007) Growing bigger. *Waste Management World*, 8(2). En línea <http://www.waste-management-world.com/display_article/289598/123/CRTIS/none/none/Growing-bigger/> Recuperado el 15/04/2008.
- [3] Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. (1994) *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Madrid, España: McGraw-Hill.
- [4] Rada, E.C., Ragazzi, M., Stefani, P., Schiavon, M. y Torretta, V. (2015) Modelling the Potential Biogas Productivity Range from a MSW Landfill for Its Sustainable Exploitation. *Sustainability*, 7, 482-495.
- [5] EPA (2008) Landfill Methane Recovery and Use Opportunities. En línea <http://www.methanetomarkets.org/resources/factsheets/landfill_eng.pdf> Recuperado el 16/04/2008.
- [6] EPA (1996) Turning a Liability into an Asset: A Landfill Gas-to-Energy Project Development Handbook, United States of America: Environmental Protection Agency. En línea <<http://www.epa.gov/landfill/res/pdf/handbook.pdf>> Recuperado el 16/04/2008.
- [7] Garg, A., Achari, G. y Joshi, R.C. (2006) A model to estimate the methane generation rate constant in sanitary landfills using fuzzy synthetic evaluation. *Waste Management Research*, 24(4), 363-375.
- [8] Broun, R. y Sattler, M. (2016) A comparison of greenhouse gas emissions and potential electricity recovery from conventional and bioreactor landfills. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2664-2673
- [9] Hecham, O. y Sohrab, R. (2015) Treatment of landfill waste, leachate and landfill gas: A review. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 9(1), 15-32.
- [10] Guzzone, B. y Schlagenhauf, M. (2007) Garbage in, energy out - landfill gas opportunities for CHP projects. Cogeneration and On-Site Power Production. En línea <http://www.cosp.com/display_article/307885/122/CRTIS/none/none/Garbage-in,-energy-out---landfill-gas-opportunities-for-CHP-projects/> Recuperado el 15/04/2008.
- [11] Zhang, H., He, P. y Shao, L. (2008) Methane emissions from MSW landfill with sandy soil covers under leachate recirculation and subsurface irrigation. *Atmospheric Environment*, 42(22), 5579-5588.
- [12] Batool, S.A. y Chuadhry, M.N. (2008) The impact of municipal solid waste treatment methods on greenhouse gas emissions in Lahore, Pakistan. *Waste Management*, 29(1), 63-69.
- [13] Shah, K.L. (2000) *Basics of Solid and Hazardous Waste Management Technology*, United States of America: Prentice Hall.
- [14] Chavez, R.H. y Guadarrama, J.J. (2015) Biogas treatment by ashes from incineration processes. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17, 1291-1300.
- [15] SCS Engineers (2005) Estudio de pre-factibilidad de recuperación y utilización de biogás en el relleno sanitario de La Esmeralda Manizales, Colombia. En línea <http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/La_Esmeralda_PreFeasibility_Spanish.pdf> Recuperado el 14/06/2008.
- [16] SCS Engineers (2005) Estudio de pre-factibilidad para la recuperación de biogás y producción de energía en el relleno sanitario de Querétaro, Querétaro, México. En línea <http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/Chihuahua_PreFeasibility_Study_Spanish.pdf> Recuperado el 15/06/2008.
- [17] SCS Engineers (2005) Estudio de pre-factibilidad para la recuperación y utilización en el relleno sanitario de Chihuahua, Chihuahua, México. En línea <http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/Chihuahua_PreFeasibility_Study_Spanish.pdf> Recuperado el 15/06/2008.

- [18] SCS Engineers (2007) *Informe de la prueba de extracción y estudio de pre-factibilidad para recuperación y utilización de biogás en el relleno sanitario de Ensenada, México.*
- [19] SCS Engineers (2005) Reporte de prueba de bombeo y estudio de pre-factibilidad para la recuperación de biogás y producción de energía en el relleno sanitario de Montevideo, Montevideo, Uruguay. En línea <http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/Montevideo_PreFeasibility_Study_Spanish.pdf> Recuperado el 14/06/2008.
- [20] Aguilar-Virgen, Q., Armijo-de Vega, C. y Taboada-González, P. (2009) Caracterización de los residuos sólidos domésticos en una temporada y su utilización en la determinación de generación de biogás en el relleno sanitario de Ensenada. In *Congreso Nacional de Estudiantes de Posgrado del Instituto de Ingeniería, UABC*. Mexicali, Baja California, México: Instituto de Ingeniería, UABC, p. 8.

Diseño de un triturador de residuos orgánicos domésticos.

¹Edgar Erick Granados Ávila, ²Claudia Estela Saldaña Durán, ³Víctor Manuel Hernández Ramón, ⁴Sergio Becerra Anzaldo.

¹ Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura “Amado Nervo” S/N, Col. Los Fresnos C.P. 63155 Tepic, Nayarit, Tel. (311) 211 8800 Ext. 8821; e-mail: eegrav@gmail.com

Resumen

Millones de toneladas de residuos sólidos urbanos son vertidas cada año en rellenos sanitarios, basureros o vertederos. Hoy en día, la gestión de los residuos ha sido centrada básicamente en un único aspecto: la eliminación de los mismos a través de los llamados rellenos sanitarios y, en otros, de incineradores. Estas estrategias traen aparejados graves impactos ambientales y sanitarios.

Estas soluciones no tienen en cuenta la necesidad de reducir el consumo de materias primas y de energía, además plantean serios riesgos para el medio ambiente y la salud de las personas. La composición de la basura es el reflejo de la actual sociedad de consumo cuyos hábitos se dirigen a la compra de productos de “usar y tirar” que lejos de ofrecer una mejor calidad de vida, por la supuesta comodidad de su empleo, conducen a una irrefrenable generación de residuos.

Los materiales de construcción y los desechos orgánicos representan más del 50% del total de los desechos, la falta de cultura para la separación de residuos, el bajo valor de algunos y la falta de infraestructura para reciclarlos, dificulta su aprovechamiento.

En este marco, el diseño de un triturador de desechos domésticos orgánicos se propone como una solución viable para el uso de estos residuos como materia prima para generar composta, que podrá ser utilizada con fines de embellecimiento de jardines, o bien como un negocio. Con el uso del *despliegue de funciones de calidad* se logra un *diseño simple, económico y viable, para triturar los desechos orgánicos*.

Palabras Clave: *Aprovechamiento, Composta, Diseño, Orgánico, QFD, Residuos, Trituración.*

1. Introducción

El presente trabajo de investigación presenta una alternativa para enfrentar el problema de contaminación que actualmente atañe a la población, específicamente a los residuos generados en el seno del hogar.

Apegándose a la estrategia “RRR”, es decir, “Reducir, Reutilizar y Reciclar”; dicho de otra forma, mientras menor sea el manejo inadecuado de residuos, el aprovechamiento de las materias primas no renovables será mejor; y por consiguiente, apoyando otras áreas estratégicas se logrará ahorrar energía, conservando el medio ambiente y contribuyendo a reducir el calentamiento global [1].

Hasta el día de hoy la gestión de los residuos se centra básicamente en un único aspecto, la eliminación de los mismos (hacerlos desaparecer de la vista) a través de los llamados rellenos sanitarios y en algunos casos, de incineradores.

La Ciudad de México (CM), incluyendo la zona conurbada, genera alrededor de 12.500ton/día de residuos sólidos urbanos (RSU), el 44% corresponde a los restos de comida y poda. Desde 2012, la Planta de Composta Bordo Poniente (PCBP) situada al noreste de la CM procesa alrededor de 2,500ton/día de restos de comida y poda en una superficie de 30.24 hectáreas produciendo 500ton/día de composta, pero la Ciudad aparentemente aún dispone otras 2,500 ton/día de esta fracción orgánica en rellenos sanitarios del Estado de México [2].

En la Ciudad de Tepic, los desechos orgánicos representan aproximadamente 40% de los RSM (34% de residuos de alimentos y 6% de jardinería) y los materiales de envase y embalajes, en conjunto, aproximadamente 38 %. Las cifras correspondientes, por ejemplo, para EUA son: 26% de residuos orgánicos (8% de alimentos y 18% de residuos de jardín) y 65% de materiales reciclables, de los cuales casi 40% son residuos de envases y embalajes [3].

Por lo que se presenta la siguiente propuesta, tomando en consideración los métodos de *reciclaje*, *recolección*, *selección*, y *aprovechamiento* utilizados actualmente de los residuos orgánicos domésticos. Así como, su ciclo de vida, mercado e impacto ambiental.

Estos desechos pueden ser usados para generar composta doméstica la cual es rica en nutrientes, en este contexto el uso de una máquina que reduzca el tamaño de los desechos para acelerar el proceso de maduración de la composta es deseable.

2. Metodología

Se divide la metodología de diseño en tres etapas las cuales son:

- Primera etapa: Comprensión del problema.
- Segunda etapa: Diseño Conceptual.
- Tercera etapa: Diseño de detalle.

2.1 Metodología para el diseño conceptual

La etapa de Diseño conceptual, se basa en la estrategia de la “*forma sigue a la función*”. Una vez identificadas todas las funciones que debe realizar el producto y que cumple con las expectativas del cliente, le sigue la definición de formas, con lo cual se parte de la clasificación de los requerimientos del cliente, y posteriormente se convierte en un modelo funcional. Hasta entonces los conceptos de diseño son generados, donde las ideas surgen para solucionar al problema, con la finalidad de obtener aquel que cumple con el objetivo [4].

2.2 Metodología del despliegue de la función de calidad

El *QFD* (*Quality Function Deployment*) es un sistema que busca focalizar el diseño de los productos y servicios para dar respuesta a las necesidades de los clientes. Esto significa, alinear lo que el cliente requiere con lo que la industria produce [5].

El *QFD* permite entender la prioridad de las necesidades de los clientes y encontrar respuestas innovadoras a dichas necesidades, a través de la mejora continua de los productos y servicios en búsqueda de maximizar la oferta de valor.

El *QFD* en su traducción al español significa: “*despliegue de la función de calidad*”. Esto es, “transmitir” los atributos de calidad que el cliente demanda a través de los procesos organizacionales, para que cada proceso contribuya al aseguramiento de estas características. A través del *QFD*, lo que es realmente importante para los clientes está siendo entendido por todo el personal de la organización.

2.3 Pasos de la metodología

1. Seleccionar un Producto/Servicio Importante a Mejorar
2. Obtener la Voz del Cliente
3. Extraer las Necesidades del Cliente
4. Organizar las Necesidades del Cliente
5. Priorizar las Necesidades del Cliente
6. Establecer los Parámetros de Diseño

7. Generar la Matriz de Relaciones
8. Obtener la Evaluación de Desempeño del Cliente
9. Correlacionar los Parámetros de Diseño
10. Analizar los Resultados
11. Iterar el Proceso

El objetivo del despliegue de funciones de calidad, consistirá en definir las características, que tendrá la trituradora como expresión de una serie de metas de diseño, para que el resto del proceso de diseño se enfoque en el logro de dichas metas [6].

La información que se obtenga en esta primera etapa del proceso de diseño, permitirá la elaboración del modelo funcional de la máquina, que será tratada en la etapa de diseño conceptual.

2.4 Metodología para el diseño de detalle

La metodología para el diseño de detalle consiste en convertir el concepto idealizado, en un croquis, un bosquejo con un conjunto de símbolos expresados en formas de lenguaje como el semántico, analítico, gráfico y físico. Es decir, especificaciones, cálculos, modelos y prototipos en objeto físico. En esta fase, la abstracción del modelo funcional debe convertirse en un modelo correcto, expresado en formas, dimensiones, acabados, especificaciones, por citar algunos [7].

3. Resultados y discusión

La aplicación del *QFD* genera una matriz llamada «*casa de la calidad*», cuyo propósito es relacionar las necesidades básicas del cliente con las características de diseño del producto. En las secciones siguientes se utilizará el *QFD* en un proceso de ocho pasos para construir la casa de calidad de la máquina trituradora.

3.1 Identificación de los consumidores

Los clientes a los que el mercado de la trituradora de materia vegetal se enfoca principalmente, son propietarios de pequeñas parcelas y usuarios domésticos con especial interés en la composta y la protección al medio ambiente. Las necesidades de ambos tipos de clientes son esencialmente las mismas: una máquina de rango medio, capaz de triturar los desechos originados comúnmente en el hogar y jardines medianos [8].

3.2 Generar especificaciones de ingeniería

En este punto, se establecen un conjunto de especificaciones de ingeniería para la máquina de trituración. Es decir, redefinir los requerimientos del cliente en términos de parámetros que puedan ser medidos cuantitativamente. Esto es muy importante, porque si para un parámetro de ingeniería no pueden establecerse unidades, entonces dicho parámetro no es medible y el requerimiento debe ser replanteado o eliminado [9]. Las unidades utilizadas para establecer especificaciones de ingeniería corresponden al sistema internacional, tales como: Joule, Watt, N, m, etcétera.

3.3 Vinculación con las especificaciones de ingeniería

En la parte central de la casa, se relacionan los requerimientos del cliente con las especificaciones de ingeniería. Esta relación, puede tener una de las siguientes formas:

- El requerimiento y la especificación tienen una fuerte relación (9).
- El requerimiento y la especificación tienen una relación media (3).
- El requerimiento y la especificación tienen una débil relación (1).
- El requerimiento y la especificación no tienen relación alguna (vacío).

Debe destacarse que algunos parámetros pueden medir más de un requerimiento del cliente (por ejemplo la especificación de volumen total de la máquina está relacionada con la facilidad de transporte, el peso y lo compacto de la misma).

3.4 Establecer metas de ingeniería

En este apartado se fijan metas reales que deben alcanzarse para cada especificación de ingeniería. Debido a que en el punto anterior se definieron una serie de parámetros medibles para cada requerimiento, es posible entonces establecer un valor numérico objetivo que representará el nivel para el cual los consumidores estarán satisfechos con la capacidad del producto para cumplir con sus expectativas. Además, se usará este mismo procedimiento para medir como la competencia satisface las especificaciones de ingeniería [10].

3.5 Identificar relaciones entre los requerimientos de ingeniería

Es posible que algunos de los parámetros o especificaciones de la trituradora sean dependientes unos de otros. Por ejemplo, la ligereza de la máquina está directamente relacionada con su volumen, los materiales en que se fabrica, y en menor medida, con la potencia del motor requerida. De esta manera, modificar un requerimiento significa alterar otro. Se usa la siguiente notación para resaltar si dos especificaciones son interdependientes:

- Relación negativa: -.
- Relación positiva: +.
- Ninguna relación: Vacío.

La parte superior de la casa de la calidad muestra las correlaciones existentes entre los diferentes parámetros de la trituradora.

3.6. Descomposición funcional

El objetivo de la descomposición funcional, es entender un problema de diseño en términos de los flujos de energía, material e información presentes en el sistema. En el desarrollo de nuevos productos, esta técnica es muy utilizada debido a que ha probado ser extraordinariamente eficiente. De esta manera, se utiliza la descomposición funcional en el diseño de las partes críticas de la trituradora [11].

3.7 Identificación de la función principal de la trituradora

Todos los problemas de diseño tienen una o dos funciones fundamentales, en el caso de la trituradora, estas funciones serán reducidas a una sola cláusula para generar una simple sentencia universal basada en los requerimientos del cliente [12].

Aunque pueden existir diversas formas para expresar la tarea principal de la trituradora; en este trabajo, se establece la función fundamental del dispositivo bajo la siguiente sentencia: *transmitir y transformar el par de salida de la flecha del motor en cargas de impacto capaces de triturar la materia vegetal hasta un tamaño razonable para su adecuada descomposición biológica.*

Tabla 1. Casa de la calidad

Dirección de mejoría	▼	▲	▲	▼	▼	▼	▲	▲	▲	▼	▼	▼	▲	▲	▼	▼	Importancia para Evaluación comparativa 5 = Mejor 1 = Peor			
Fácil de usar	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	3	4
Segur idad	3	9	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	5	3	3	2
Trit. Efici ente	3	1	3	3	9	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	5	4	4	4
Dura ble	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1	1	3	1	1	1	1	3	3	3	4
Mant to. Fácil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1	1	3	4	3	4
Preci o acces ible	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1	9	3	1	3	4	3	4	3
Confi able	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	4	4	3	2
Poten cia adecu ada	9	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	9	1	1	1	5	4	3	4
Liger a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	3	4	2	3	4
Com pacta	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	9	4	4	3	3
Dific ultad	1	1	2	2	5	2	1	1	1	5	4	2	4	5	4	4	<u>Dirección de mejoría:</u>			
																	▲	Maximizar		
Abso luta	185	101	113	103	101	85	99	85	133	85	93	141	175	103	107	115	▼	Minimizar		
																	<u>Relación:</u>			
Relat iva	10	6	6	6	6	5	5	5	7	5	5	8	10	6	6	6	Muy Fuerte (9)			
																	Fuerte (3)			
																	Débil (1)			
Eval uació n de Inge nierí a	2	11	6	9	10	14	12	13	4	15	16	3	1	8	7	5				

3.8 Descripción de las subfunciones del dispositivo

Una vez que se ha identificado la función primordial de la trituradora, se procede a la descomposición de la misma en subfunciones con el fin de tener un mayor entendimiento del problema de diseño. Esto es importante debido a que una comprensión adecuada de las necesidades funcionales del sistema, generará mejores ideas para diseñar un dispositivo. La figura 1 muestra un cuadro con las subfunciones identificadas y ordenadas.

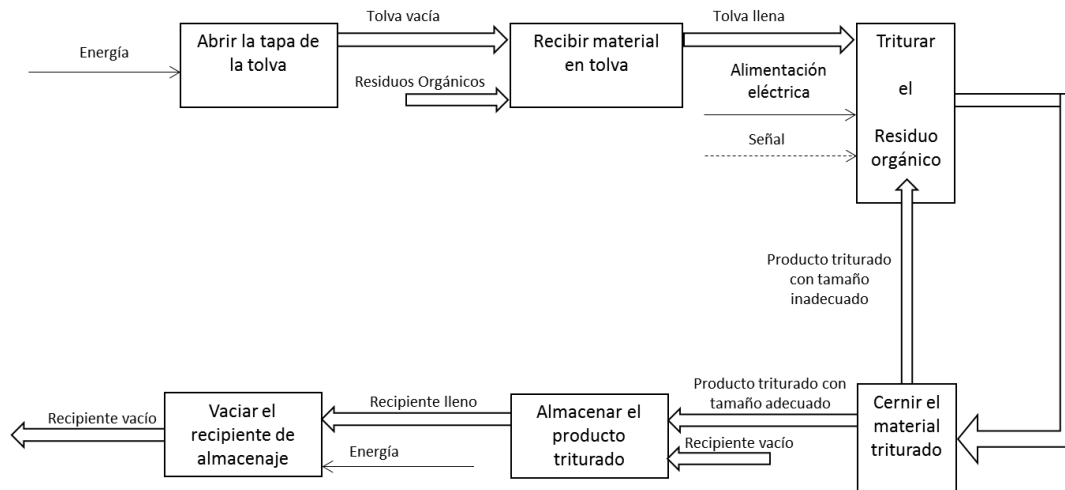


Figura 1. Descomposición funcional de la máquina trituradora.

3.8 Matriz de decisión

Esta técnica ayuda en la generación de ideas que permitan resolver un problema de diseño determinado. Existen dos etapas en la aplicación del método: el primer paso consiste en generar tantos conceptos como sea posible para cada función identificada en la descomposición; la segunda etapa se aplica al combinar estos conceptos individuales para construir un solo concepto que satisfaga todos los requerimientos funcionales.

3.8.1 Desarrollar conceptos para cada función

Se realiza una descomposición funcional del problema de diseño. Por tanto, para las subfunciones identificadas en la figura 1, se buscarán alternativas de solución que permitan su cumplimiento.

3.9 Función global y estructura funcional

NIVEL 0

El nivel 0 es mostrado en la figura 2, son presentados aquí, los factores en cuanto a material, energía y señal que son requeridos por la trituradora para cumplir su función global y obtener el producto especificado por el cliente.

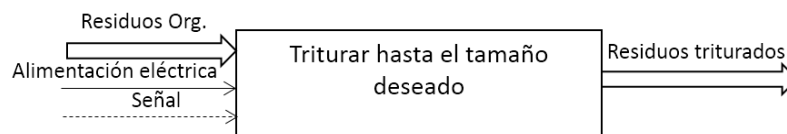


Figura 2. Nivel 0 trituradora de residuos orgánicos domésticos

NIVEL 1

En la figura 3, se muestra el primer nivel de conceptualización. Se establece un desglose de las funciones requeridas para la obtención del producto final.

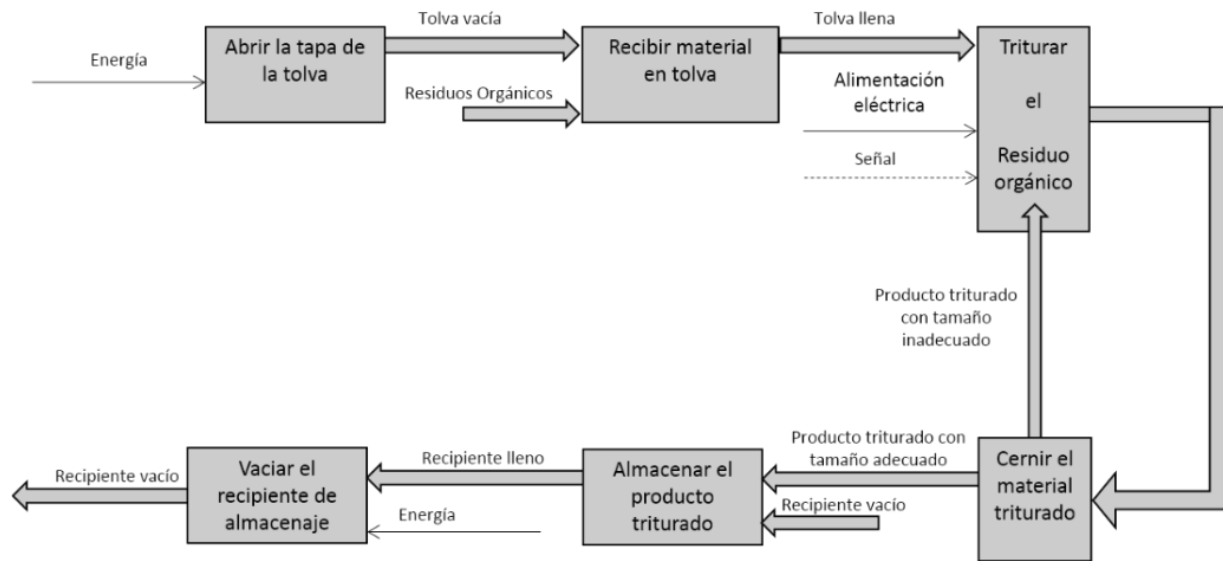


Figura 3. Nivel 1 Trituradora de residuos orgánicos domésticos

3.9.1 Determinación de módulos

Separar por módulos constructivos y/o funcionales los procesos que se cumplen es deseable, ya que de esta forma se abordan las posibles soluciones de cada uno de ellos.

El aplicar una estructura modular, ayuda tanto al fabricante como al usuario, ya que la división del proyecto facilita su diseño. Disminuyendo el tiempo de diseño, reducción de costos, facilidad de montaje, el mantenimiento, se amplía la gama, etc.

Módulo 1: Ingreso de la materia prima

El ingreso de la materia prima, comienza con la apertura de la tolva, hasta el llenado de la misma.

Módulo 2: Trituración y clasificación

Al tener la materia prima necesaria en la cámara, se procede a encender el motor accionando un pulsador, luego de ello, se inicia la trituración.

Una vez triturado el residuo orgánico, sólo se permitirá el paso del material que cumpla con el tamaño especificado, de lo contrario, volverá a repetirse el proceso descrito en el presente módulo.

Módulo 3: Almacenaje

Una vez que se cumpla con lo establecido en el módulo dos, el producto final (con el tamaño adecuado) se almacena en el recipiente de almacenaje de la trituradora, al llenarse, será retirado y vaciado en el lugar que se destine para el efecto (véase la figura 4).

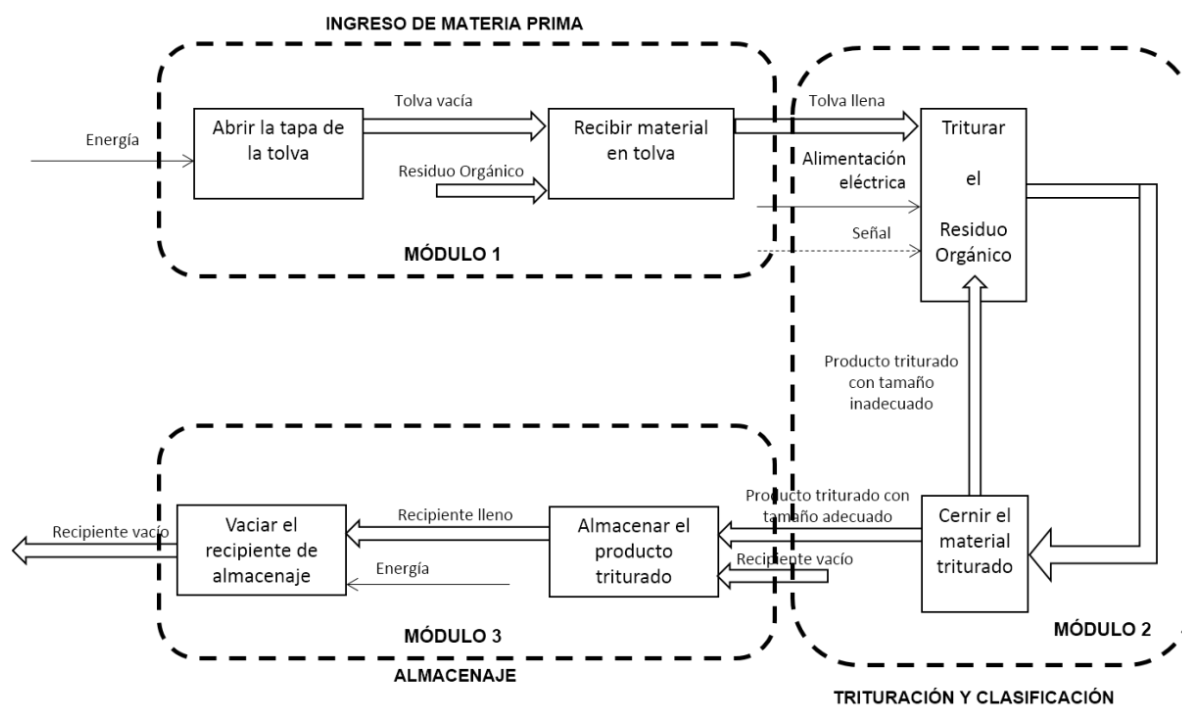


Figura 4. División modular

Una vez detallada la función global de la trituradora, se elaboran cuatro alternativas que den solución a las funciones globales de cada módulo. Se realiza una evaluación técnico- económica de cada una de ellas. Por lo cual, varios aspectos son evaluados dependiendo de cómo son satisfechos por cada una de las propuestas, siendo 1 malo y 5 excelente. A los puntos de comparación también se les asignará un valor numérico de (1 a 3), dependiendo del grado de importancia que tenga respecto al desarrollo del proyecto, este valor se denomina como factor de influencia, siendo: 1-Importante, 2- Muy importante y 3-Imprescindible.

Tabla 2. Evaluación Económica

Puntos de evaluación		Factor de influencia	Puntaje (Pi)				
			Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Proy.
1	Materiales	2	4	4	4	5	5
2	Fabricación	3	4	3	3	4	5
3	Operación	2	4	4	4	4	5
4	Mantenimiento	2	5	4	4	4	5
5	Producción	3	4	4	4	4	5
TOTAL = $\Sigma (F_i * P_i)$			50	45	45	50	60
Coeficiente económico = P total / Puntaje ideal			83	75	75	83	100

Tabla 3. Evaluación Técnica

Puntos de evaluación		Factor de influencia	Puntaje (Pi)				
			Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Proy. Ideal
1	Seguridad	3	4	4	4	4	5
2	Rendimiento	3	3	4	3	4	5
3	Costo de Energía	2	3	4	4	4	5
4	Facilidad de fabricación	2	3	4	3	4	5
5	Ergonomía	2	4	4	4	4	5
6	Accesorios	2	4	4	2	4	5
7	Facilidad de manejo	2	4	4	4	4	5
8	Facilidad de montaje	2	2	4	3	5	5
9	Lubricación	1	3	4	4	4	5
10	Mantenimiento	1	3	4	3	4	5
11	Ruido	1	3	4	4	4	5
TOTAL = $\Sigma (F_i * P_i)$			70	84	72	86	105
Coeficiente económico = $P \text{ total} / \text{Puntaje ideal}$			67	80	69	82	100

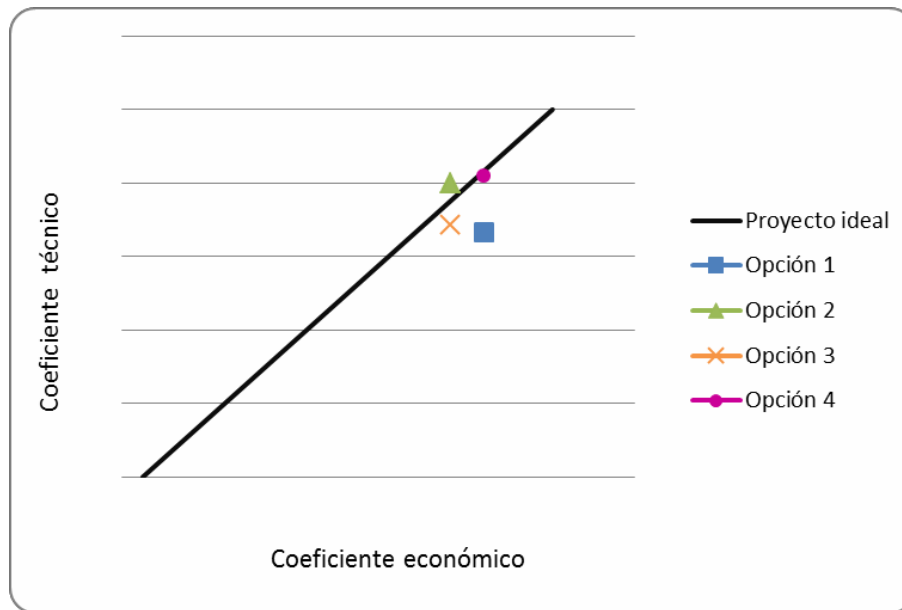


Figura 5. Evaluación de propuestas

La selección más adecuada no solo se basa en el mayor coeficiente técnico y económico, sino también entre el equilibrio que existe entre los dos. Interpretando los datos ponderados en el gráfico de la figura 5, se

determina que la opción más adecuada para el proyecto es la número cuatro. De modo que, acorde con la interpretación anterior, la metodología nos ayuda a decidir las partes principales con las que deberá ser diseñada nuestra máquina:

- Selección manual de los residuos orgánicos.
- Introducción manual de los residuos orgánicos.
- Rotor con martillos para efectuar la trituración.
- Transmisión por bandas entre el eje del motor y el eje del rotor.
- Criba de 46 mm de diámetro
- Drenaje adicional para colecta del lixiviado derivado de la trituración
- Tablero de control eléctrico para su operación
- Se fabricará en material resistente a intemperie y corrosión por ácidos (acero inoxidable)

4. Conclusiones

En el desarrollo del presente trabajo se logró diseñar una máquina aplicando una de las metodologías de diseño más robustas, ya que toma en cuenta, tanto los deseos del cliente, como los requerimientos mínimos de ingeniería que garantizarán el buen funcionamiento del equipo, la seguridad en su operación y su durabilidad, de conformidad con la inversión a realizar.

La metodología propuesta sirvió para priorizar los indicadores evaluados, obteniendo resultados coherentes respecto a los juicios suministrados por los expertos.

La revisión de la literatura permitió identificar una serie de indicadores generales los cuales fueron clasificados y adaptados para evaluarlos en un sector específico.

Se espera que los resultados presentados en este trabajo sirvan para apoyar el proceso de toma de decisión en el momento que se requiera definir estrategias para optimizar el funcionamiento del prototipo.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este trabajo, se considera que el *QFD* es un modelo aplicable y adaptable a otros problemas de decisión, sin dejar de mencionar que este modelo contribuye a un proceso de decisión eficaz y más acertado, debido a la integración misma de los requerimientos de ingeniería y la voz del usuario.

El tamaño de la fracción triturada estará dentro del rango medio de 4.60 cm sugerido en [13] y será óptimo para el proceso biológico de descomposición aerobio.

4.1. Recomendaciones.

La materia orgánica que ingrese al triturador debe estar libre de cualquier elemento inorgánico o inerte el cual pondrá en riesgo el correcto funcionamiento del triturador y la calidad de la fracción triturada.

La alimentación orgánica hacia el triturador debe realizarse de tal forma que se garantice un flujo continuo y que sea solo materia orgánica la que ingrese al equipo de trituración.

La recepción de la fracción orgánica triturada descendente deberá transportarse de tal manera que se facilite su disposición final en los composteros.

Referencias

- [1] Glynn Henry, J. y Gary Heinke, W. (2011). Ingeniería Ambiental. Segunda edición. Editorial Limusa Wiley. México.

- [2] Barrón Santos, F. (2013). Optimización del proceso de composta producida a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos que se generan en la Ciudad de México. Tesis de Posgrado del CIIEMAD-IPN, Ciudad de México.
- [3] Saldaña Durán, C. E. (2013). Caracterización Física de los Residuos Sólidos Urbanos y el Valor Agregado de los Materiales Recuperables en el Vertedero "El Iztete" de Tepic, Nayarit, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*.29, 25-32.
- [4] Chilito Gaviria, G. (2015). Diseño de una metodología para la evaluación de los requerimientos de producción ambiental en el sector metalmecánico usando FUZZY, ANP y QFD. Tesis de grado Universidad del Valle. Santiago de Cali.
- [5] Riba, C. (2013). *Diseño Concurrente*. Tercera Edición. Ediciones UPC. Barcelona.
- [6] Capdevila i Mayà, O. (2015). Comparació del procés de compostatge de la fracció orgànica de residus municipals en tres tipus diferents d'instal·lació en relació a la seva capacitat. Trabajo final de carrera Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- [7] VOEGELI, Y. (2014). *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries. Practical Information and Case Studies*. Duebendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG).
- [8] Ramos Salazar, O. A. (2016). Diseño y construcción de un molino triturador de bagazo de caña para la industria de producción de champiñones con capacidad de 600 kilos por hora (Doctoral dissertation, Quito, 2016.).
- [9] Adeline Mertenat, I. (2015). Selecting Organic Waste Treatment Technologies. Elección de Tecnologías de Tratamiento de residuos orgánicos. Estudio de caso: Municipio de Aquitania, Boyacá, Colombia.
- [10] Borja Carvajal, G. Y. (2016). Diseño del sistema de gestión de seguridad industrial basado en las normas OHSAS 18001-2007 para la trituradora "Pedro Tobar" del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia Bolívar. ESPOCH: Ecuador.
- [11] Vargas, P. C. (2016). Diseño y ejecución de la planta de manejo integral de residuos solidos (Pmirs). Municipio de Restrepo, Valle Del Cauca.
- [12] Ullman, D. (2014). *The Mechanical Design Process*. Segunda Edición. McGraw-Hill. Estados Unidos de América.
- [13] López Fabara, D. (2011). Diagnóstico, Caracterización y Propuesta de Tratamiento de los Lixiviados generados en el Relleno Sanitario de la Ciudad de Ambato. Tesis de Grado UPN. Quito.

Evaluación de la calidad del suelo bajo cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*) adicionado con mezclas de fertilizante más vermicomposta

¹Pedro del Aguila, ¹Rocio Vaca, ^{1*}Jorge Lugo, ¹Santiago Gutiérrez-Gómez

¹ Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario 100 Toluca, 50 000 México.
jorgelug@gmail.com

Resumen

La aplicación de los residuos orgánicos (estiércol animal, residuos domésticos y lodos residuales entre otros) en la agricultura, representa una alternativa para reducirlos, reciclarlos y aprovecharlos por su riqueza nutrimental y materia orgánica; El presente estudio se encaminó a determinar la viabilidad del uso de diferentes relaciones de fertilizante químico y vermicomposta, elaborada a partir de lodo residual y abono equino, para su uso en el cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*). Para lo cual se determinaron propiedades químicas (pH, C.E y materia orgánica) y propiedades bioquímicas (mineralización del N, Carbono de la Biomasa Microbiana, Respiración Basal, actividad enzimática de la catalasa). Asimismo, se calculó el qCO_2 como un índice de calidad del suelo. Los resultados mostraron que el contenido de materia orgánica, biomasa microbiana y la actividad de la catalasa aumentaron al incrementar la adición de vermicomposta.

Palabras Clave: oxidación, maduración, lombriz de tierra, fertilización, abono orgánico.

1. Introducción

Uno de los grandes problemas ambientales que el hombre tiene que afrontar y solucionar es la gestión de los diferentes tipos de residuos que genera y darles un uso adecuado para mejora del ambiente. Los lodos residuales (LR) cuando se estabilizan mediante técnicas fisicoquímicas y biológicas dan lugar a los biosólidos [1]. En México se estima que la producción anual de estos residuos es de alrededor de cuatro millones de toneladas en peso seco, un destino es su reutilización en suelos agrícolas. La aplicación de estos residuos al suelo, implica la solución de dos problemas ambientales: i) la reducción de una fuente potencial de contaminación y ii) el aprovechamiento de un recurso de bajo costo que permite mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo y por tanto, aumentar su productividad [2].

Para la evaluación de la calidad del suelo es importante realizar una selección de propiedades, las cuales sean sensibles a la presencia de agentes degradadores, dar una dirección de cambios que presentan en respuesta a contaminantes y reflejar los diferentes niveles de degradación [3]. Las propiedades generales como la estabilidad de agregados, densidad, pH, salinidad y capacidad de intercambio catiónico (CIC) son usados como indicadores de la calidad del suelo debido a su sensibilidad; pero, estas propiedades al cambiar muy lentamente se utilizan solamente como parámetros útiles cuando se usan con cambios realmente drásticos [4].

Mientras que las propiedades biológicas y bioquímicas están relacionadas con los organismos involucrados en el reciclamiento de nutrientes; cambios en éstas son considerados indicadores tempranos de alteración del suelo y responden a pequeños variaciones, por lo que, proveen información sensible sobre cambios [3] y son consideradas como opción para determinar la calidad en términos de productividad [4]. Entre estas propiedades se encuentran la biomasa microbiana, respiración basal y actividad enzimática [4]. Muchas de las propiedades biológicas del suelo pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad, solas o bien en combinación con propiedades físicas o químicas y, solamente las propiedades que sean sensibles a los cambios de manejo deben ser usadas [5]. Dentro de las características biológicas se tiene a la biomasa microbiana, responsable principal de la descomposición y reconversión de la materia orgánica (MO) como una fuente de nutrientes (N, P y S) para las plantas con alta tasa de recambio. La biomasa microbiana tiene

un papel fundamental como indicador ecológico sensible a los cambios ambientales [6]. Otro componente biológico que tiene un papel protagonista es la respiración basal (RB) que muestra de manera cuantitativa la actividad microbiana del suelo, y hace referencia de las condiciones fisiológicas de un ecosistema. [7]. La respiración reacciona de forma diferente a tratamientos y métodos de cultivo; así mismo, ha sido usada para la valoración de efectos secundarios presentes en compuestos químicos como pesticidas y metales pesados [8].

Otro componente de gran importancia es el N, este se encuentra en mayor cantidad en la atmósfera (78% del aire) [9]. En el suelo, dependiendo del contenido de MO, los primeros 20 centímetros de profundidad pueden contener entre 1,000 y 10,000 kg de N por hectárea. Del total del N que hay en el suelo, aproximadamente 98% se encuentra formando compuestos orgánicos. Estas formas orgánicas incluyen proteínas, aminoácidos y azúcares aminorados; sin embargo, las formas químicas identificadas representan sólo 30-35% del N orgánico total del suelo. La capacidad de mineralización del N hace referencia a la capacidad del suelo de transformar compuestos de nitrógeno orgánicos a inorgánicos como amonio y nitratos. La determinación del N mineralizado ha sido empleada para establecer la influencia del manejo sobre la calidad del suelo [5].

Uno de los componentes biológicos que tiene un papel significativo es el cociente metabólico (qCO_2) es uno de los índices más simples descrito por primera vez por [10]. El qCO_2 es un índice sencillo de la actividad biológica del suelo, está basado en la hipótesis de la optimización energética de los ecosistemas, derivada de la teoría ecológica sobre la sucesión de los ecosistemas y la eficiencia metabólica de la microflora edáfica y representa la respiración por unidad de biomasa [11]. En ecosistemas jóvenes (inmaduros) el valor de qCO_2 debe ser elevado y al referirse a ecosistemas maduros el valor es bajo; es decir, la relación entre la respiración total y la biomasa total de un ecosistema debe disminuir progresivamente a medida que el ecosistema alcanza el estado de equilibrio o de estabilidad [12]. Este índice ha sido ampliamente utilizado como un indicador de las alteraciones que se producen en el suelo debido a la contaminación por metales pesados, deforestación, temperatura o los cambios en las prácticas de manejo del suelo; sin embargo, también ha sido criticado por su falta de sensibilidad a ciertas perturbaciones y al desarrollo del ecosistema [13]. Por lo que el objetivo de este estudio fue conocer la relación más adecuada de vermicomposta con fertilizante químico para el cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*) mediante la evaluación de propiedades bioquímicas como un indicador de suelo y proponer la mejor relación fertilizante-vermicomposta.

2. Metodología

2.1 Obtención de vermicomposta

La vermicomposta se elaboró en el laboratorio de Edafología y Ambiente de la Facultad de Ciencias UAEMéx, con 30% de lodo residual (de origen municipal obtenido de la planta de tratamiento de agua residuales Toluca Oriente perteneciente a Operadora de Ecosistemas, S.A de C.V.) y 70% de estiércol de equino obtenido de la posta de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex, bajo condiciones aerobias con un periodo de estabilización de 60 días.

El suelo se obtuvo del horizonte Ap del campo agrícola perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMéx mediante un muestreo sistemático de 20 muestras para obtener una muestra compuesta. El fertilizante químico empleado fue NPK (100:40:40) de marca comercial.

2.2 Diseño experimental

Este estudio se conformó por 5 tratamientos con 6 repeticiones bajo un diseño de bloques completamente aleatorio. Los tratamientos que se emplearon fueron: S: suelo, SF: suelo + 100% de fertilizante (NPK

100:40:40), SF₅₀V₁₀: suelo+ 50% de fertilizante + 10 t ha⁻¹ de vermicomposta, SF₂₅V₂₀: suelo+ 25% de fertilizante + 20 t ha⁻¹ de vermicomposta, SV₄₀: suelo + 40 t ha⁻¹ de vermicomposta.

El suelo fue colocado en macetas de 5 kg y en cada una de ellas se sembraron 6 plántulas de albahaca (*Ocimum basilicum*), que tenían sus dos primeras hojas. A las 24 h después de la siembra se adicionaron los tratamientos (vermicomposta con fertilizante) descritos anteriormente.

A los 10 días después de la adición de los tratamientos, se tomaron muestras de suelo de cada maceta, las cuales fueron divididas en dos porciones: una de ellas se secó a temperatura ambiente y tamizó a 2 mm para la determinación de las pruebas químicas; la otra porción de suelo se le adicionó agua a capacidad de campo, se incubaron por 24 hrs en estufa a 23°C para la determinación de las propiedades bioquímicas. A las plantas se les determinó peso húmedo al primer corte, cerca de 60 días después de la siembra.

2.3 Análisis de laboratorio

2.3.1 Parámetros químicos

Los parámetros medidos fueron: pH en agua a través del método AS-02 en una relación suelo: agua 1:2.5; conductividad eléctrica (CE) por el método AS-18 [14]; contenido de materia orgánica por el método AS-07 [15], como lo indica la NOM 021.

2.3.2 Parámetros bioquímicos

Se determinó el carbono de la biomasa microbiana (CBM) usando el procedimiento fumigación-extracción [16], respiración basal (RB) por el método de jarras cerradas [17]; Nitrógeno total (NT) a través del método Kjeldhal [13]; Nitrógeno inorgánico (Ni) por el método AS-08; y actividad catalasa [18].

Por otro lado se elaboró un índice de calidad (qCO_2), que fue calculado dividiendo el carbono de la respiración entre el carbono de la biomasa microbiana por unidad de tiempo [19].

2.3 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante un ANOVA para diseño en bloques completamente aleatorios y la prueba de Tukey para conocer las diferencias de medias entre los tratamientos. Los análisis se hicieron a través del paquete estadístico Statgraphics centurión XVI con un nivel de confianza de 95%.

3. Resultados y Discusión

3.1 Propiedades químicas del suelo

3.1.1 pH y conductividad eléctrica (CE)

Como se observa en la Tabla 1, el pH de cuatro de los tratamientos se clasificó como neutro y uno como moderadamente ácido [19]; se encontraron diferencias significativas entre ellos, debido a la utilización de fertilizante con nitrógeno que es muy soluble y de disposición inmediata en el suelo ($p < 0.05$). De los tratamientos analizados (excepto los tratamiento S y SV₄₀) fueron tratados con fertilizantes con nitrógeno, razón por la que se encontró un pH neutro. Valores de pH entre 6.7 y 7.0 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos; sin embargo, es necesario considerar el sitio, con respecto a la calidad del suelo y tolerancia de los cultivos [18]. En consecuencia los tratamientos que contienen fertilizante, este actúa de manera rápida y por tanto, muy apropiados para los casos en que se detecta insuficiencia de nitrógeno y dado que contienen nitrato de cálcico y nitrato sódico, ambos producen en el suelo una reacción ligeramente ácida [20]. Con respecto a la CE los 5 tratamientos en general mostraron valores bajos en salinidad y presentaron diferencias significativas siendo el SV₄₀ el más alto en salinidad ($p < 0.05$). Con respecto a esto su salinidad no tiende a representar impactos en suelos de uso agrícola, debido a que el valor

que muestra (3.76.) es caracterizado como un suelo moderadamente salino [19]. Esto se atribuye a que la vermicomposta adicionada ayuda a que las cantidades de sales y sustancias orgánicas tengan poca solubilidad, y que estas tiendan a desaparecer en el suelo. Se sabe que un suelo con poca salinidad permitirá el crecimiento de las plantas ya que no afectará el equilibrio de la relación suelo-agua, lo que generará un aumento en la capacidad productiva de un suelo.

Tabla 1. Parámetros químicos (pH y C.E) de suelo adicionado con diferentes relaciones de vermicomposta y fertilizante químico bajo cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*)

Tratamiento	pH	C.E d S m ⁻¹
S	6.50 ^D	3.10 ^D
SF	6.67 ^C	3.32 ^C
SF ₅₀ V ₁₀	6.79 ^B	3.63 ^B
SF ₂₅ V ₂₀	6.82 ^A	3.72 ^A
SV ₄₀	6.83 ^A	3.76 ^A

Donde S: suelo, SF: suelo + 100% de fertilizante (NPK 100:40:40), SF₅₀V₁₀: suelo+ 50% de fertilizante + 10 t ha⁻¹ de vermicomposta, SF₂₅V₂₀: suelo+ 25% de fertilizante + 20 t ha⁻¹ de vermicomposta, SV₄₀: suelo + 40 t ha⁻¹ de vermicomposta. Las literales indican diferencias significativas (p<0.05: Prueba de Tukey).

3.1.2 Materia Orgánica

Los resultados mostrados para MO (Fig. 1) los clasifican de tipo alto (4.1-6.0) [14]. También existen diferencias significativas (p<0.05) entre los tratamientos, promovido por el incremento de la dosis de vermicomposta que adiciona MO procedente del estiércol y del LR, esto ayuda a mantener la estabilidad estructural, favorece la filtración, así como la retención de agua disponible, además aporta nutrientes para el desarrollo de las plantas y mantiene la actividad de la fauna y microbiológica del suelo [4].

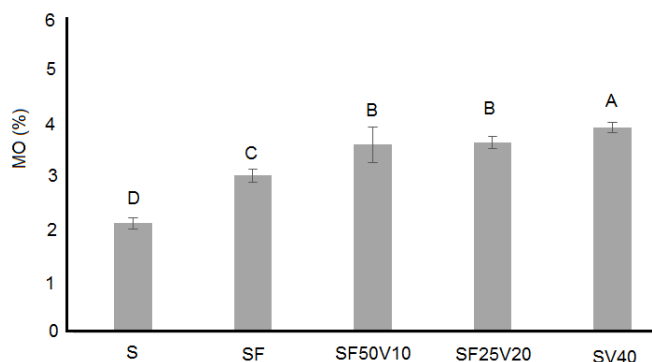


Figura 1. Contenido de materia orgánica en suelo adicionado con diferentes relaciones de vermicomposta con fertilizante bajo cultivo de albahaca donde S: suelo, SF: suelo + 100% de fertilizante (NPK 100:40:40), SF₅₀V₁₀: suelo+ 50% de fertilizante + 10 t ha⁻¹ de vermicomposta, SF₂₅V₂₀: suelo+ 25% de fertilizante + 20 t ha⁻¹ de vermicomposta, SV₄₀: suelo + 40 t ha⁻¹ de vermicomposta. Las literales indican diferencias significativas (p<0.05: Prueba de Tukey).

3.1.3 Mineralización del Nitrógeno total e inorgánico

En las figura 2 y 3 se observa el contenido del nitrógeno total, nitrógeno en forma amoniacal y de nitritos y nitratos, para los cinco tratamientos. Los resultados muestran que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos; se observa que los tratamientos SF₂₅V₂₀ y SV₄₀ son los que presentaron un valor mayor, seguido de los tratamientos SF y SF₅₀V₁₀ respectivamente, siendo el más bajo el tratamiento S. El valor de N total para el tratamiento SV₄₀ es alto (0.1925) [14].

Debido a la proporción de LR y abono equino presente en los tratamientos se puede esperar una buena mineralización y porcentaje del N [21], los LR y estiércoles favorecen más el proceso de mineralización del nitrógeno.

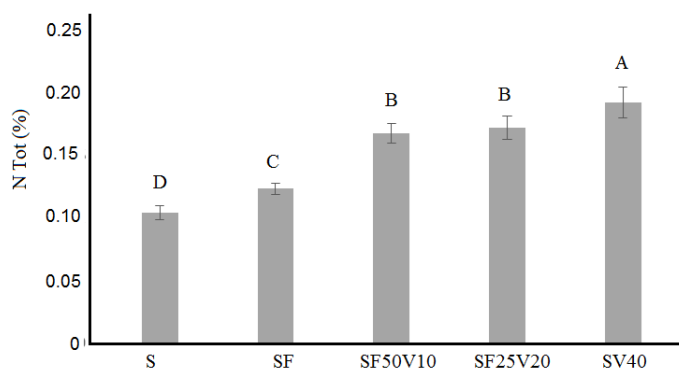


Figura 2. Nitrógeno Total en suelo adicionado con diferentes relaciones de vermicomposta con fertilizante bajo cultivo de albahaca

Donde S: suelo, SF: suelo + 100% de fertilizante (NPK 100:40:40), SF50V10: suelo+ 50% de fertilizante + 10 t ha⁻¹ de vermicomposta, SF25V20: suelo+ 25% de fertilizante + 20 t ha⁻¹ de vermicomposta, SV40: suelo + 40 t ha⁻¹ de vermicomposta. Las literales indican diferencias significativas ($p < 0.05$: Prueba de Tukey).

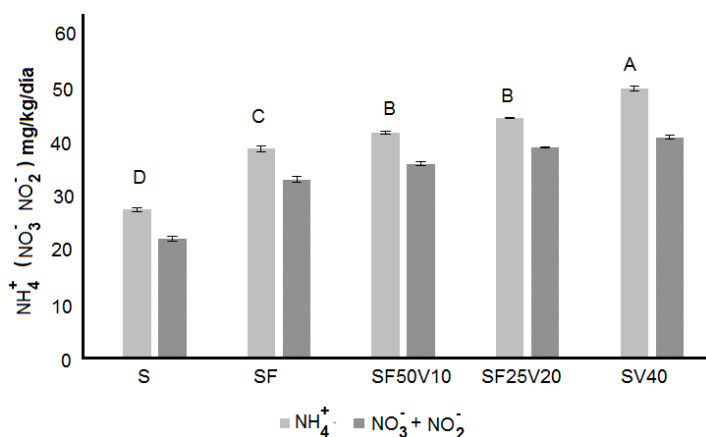


Figura 3. Nitrógeno Inorgánico en forma amoniacal (NH₄⁺) y Nitritos y nitratos (NO₃⁻ + NO₂⁻) de 5 tratamientos (vermicomposta+ fertilizante químico)

Donde S: suelo, SF: suelo + 100% de fertilizante (NPK 100:40:40), SF50V10: suelo+ 50% de fertilizante + 10 t ha⁻¹ de vermicomposta, SF25V20: suelo+ 25% de fertilizante + 20 t ha⁻¹ de vermicomposta, SV40: suelo + 40 t ha⁻¹ de vermicomposta. Las literales indican diferencias significativas ($p < 0.05$: Prueba de Tukey).

3.1.4. Parámetros bioquímicos: carbono biomasa microbiana, respiración basal y qCO₂

En la tabla 2 se muestran los valores obtenidos en el CBM para todos los tratamientos, éstos oscilan entre 42.72 y 63.43 mgC/100g/ss, mostrando diferencias significativas ($p < 0.05$). La actividad microbiana es crucial para los procesos de descomposición en los suelos. En muchos casos se han visto afectados negativamente por los productos químicos utilizados en la agricultura intensiva.

El tratamiento SV₄₀ (Tabla 2) es el que presentó mayor cantidad de CBM (63.43), esto podría deberse al crecimiento de la microbiota y a la alta concentración de C orgánico fácilmente biodegradable el cual genera el crecimiento en la población microbiota del suelo y también a que el tratamiento no fue tratado con fertilizantes.

Mientras que los tratamientos S y SF son los que presentan los valores más bajos (42.72 y 47.7) coincidiendo con los resultados obtenidos por [22], donde señalan que la biomasa microbiana disminuye por la fertilización de N mineral y esta puede estar causada por la toxicidad directa y la reducción del pH debido a fertilizantes a base de amonio.

Tabla 2. Respiración basal, C de la biomasa microbiana y cociente metabólico (qCO₂) de 5 tratamientos (vermicomposta con fertilizante químico).

Tratamiento	Respiración basal ($\mu\text{g/g}$)	C-Biomasa (mgC/100g ss)	qCO ₂ $\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}\text{ C biomasa h}^{-1}$
S	138.1	42.72 ^C	1.67
SF	160.9	47.7 ^B	1.74
SF ₅₀ V ₁₀	168.9	49.9 ^B	1.75
SF ₂₅ V ₂₀	176.7	51.9 ^B	1.76
SV ₄₀	216.9	63.43 ^A	1.77

S: suelo, SF: suelo + 100% de fertilizante (NPK 100:40:40), SF₅₀V₁₀: suelo+ 50% de fertilizante + 10 t ha⁻¹ de vermicomposta, SF₂₅V₂₀: suelo+ 25% de fertilizante + 20 t ha⁻¹ de vermicomposta, SV₄₀: suelo + 40 t ha⁻¹ de vermicomposta. Las literales indican diferencias significativas ($p < 0.05$: Prueba de Tukey).

La actividad microbiana del suelo, se estima midiendo la respiración basal, describiendo a esta propiedad como un buen indicador del proceso de mineralización de la MO [22]. En la Figura 4 se observa como varían los valores acumulados de la obtención del CO₂ durante un periodo de 22 días bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad. En ella se observa que el tratamiento SV₄₀ y el tratamiento SF₂₅V₂₀ presentan la curva más ascendente de producción acumulada de CO₂; mientras que, los otros tratamientos (S, SF y SF₅₀V₁₀) presentaron curvas menos ascendentes.

Se reportó que los suelos con mayor cantidad de MO, tienen un efecto importante en cuanto a la actividad biológica del suelo incrementando la actividad respiratoria. Se aprecia que en los 5 tratamientos la velocidad de respiración se incrementa a partir del día 15, beneficiando a los organismos a encontrar de fácil manera los nutrientes asimilables así como energía [22].

La respiración basal es muy importante debido a que se encarga de analizar la tasa de evolución de CO₂ previamente de la mineralización del sustrato orgánico del suelo [22].

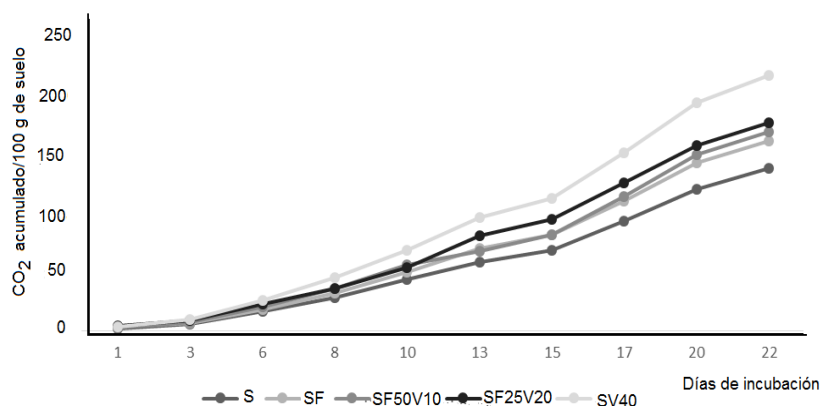


Figura 4. Respiración basal de 5 tratamientos considerando 22 días de incubación de la (vermicomposta con fertilizante químico). S: suelo, SF: suelo + 100% de fertilizante (NPK 100:40:40), SF50V10: suelo+ 50% de fertilizante + 10 t ha⁻¹ de vermicomposta, SF25V20: suelo+ 25% de fertilizante + 20 t ha⁻¹ de vermicomposta, SV40: suelo + 40 t ha⁻¹ de vermicomposta.

A través de los valores obtenidos en Biomasa Microbiana y Respiración basal se calculó el índice qCO_2 . Los valores más altos de qCO_2 se presentaron en los tratamientos SV₄₀ y SF₂₅V₂₀; mientras que, los tratamientos S, SF y SF₅₀V₁₀ presentaron los valores más bajos. Los valores altos de qCO_2 se pueden atribuir a la disponibilidad de una fuente de C lábil por unidad de biomasa, debidamente a un supuesto cambio en las comunidades o en un aumento de la biomasa activa [21]. El qCO_2 se ha utilizado para estudiar la evolución del suelo y se ha demostrado que este cociente decrece a medida que el ecosistema madura. Un valor más elevado, no solo puede indicar un mayor nivel de estrés, sino también, un ecosistema inmaduro o un suelo que tiende a mineralizarse con mayor facilidad [23]. Se ha demostrado que el qCO_2 es sensible al cambio del uso de suelo, de manera que un manejo poco intensivo del suelo causa una disminución de este parámetro, lo que indica un menor estrés en la comunidad bacteriana [24].

3.1.5 Catalasa

La actividad enzimática de catalasa en los tratamientos se muestra en la figura 5. El tratamiento SF presentó el promedio más bajo comparando con los tratamientos SF₅₀V₁₀ y SF₂₅V₂₀ que presentaron un comportamiento similar. Los tratamientos que mayor actividad fueron S y SV₄₀. Los resultados muestran que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. La actividad de la catalasa puede aumentar o disminuir en función del tratamiento del suelo que fue adicionado con fertilizante químico, los componentes de los fertilizantes pueden inhibir la actividad enzimática del tratamiento [23].

En los valores obtenidos de los tratamientos adicionados con vermicomposta, la actividad de la catalasa presentó variaciones según la composición de cada tratamiento. Por otra parte, la actividad de la catalasa depende también del contenido de MO del suelo y disminuye con la profundidad a la que ha sido tomada la muestra, pero no parece relacionada con el número de microorganismos presentes en el suelo [10-19].

Las enzimas son los parámetros bioquímicos más complejos del medio edáfico y son dependientes de una multitud de factores por lo que su respuesta es importante, ya que, refleja los cambios generados en las actividades microbianas por el ambiente [10-19].

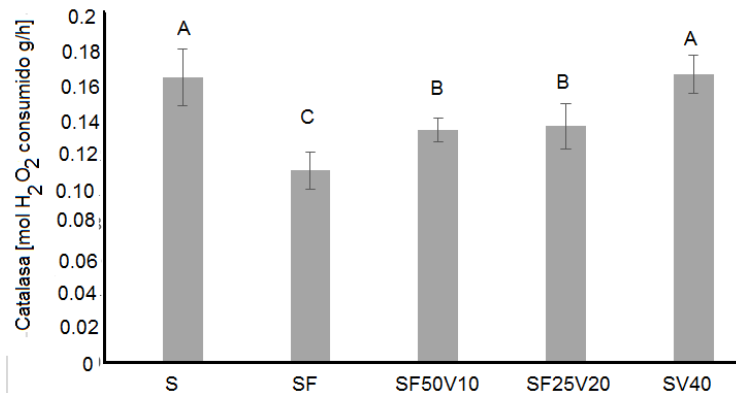


Figura 5. Actividad enzimática (catalasa) de 5 tratamientos (vermicomposta con fertilizante químico).

S: suelo, SF: suelo + 100% de fertilizante (NPK 100:40:40), SF50V10: suelo+ 50% de fertilizante + 10 t ha⁻¹ de vermicomposta, SF25V20: suelo+ 25% de fertilizante + 20 t ha⁻¹ de vermicomposta, SV40: suelo + 40 t ha⁻¹ de vermicomposta. Las literales indican diferencias significativas (p<0.05: prueba de Tukey).

3.1.6. Rendimiento albahaca

Al primer corte del cultivo, se determinó el peso húmedo de cada planta por maceta, obteniendo así el peso húmedo de cada tratamiento, en la figura 6 se observa el rendimiento de la albahaca, donde los tratamientos SF, SF₅₀V₁₀ y SF₂₅V₂₀ presentaron mayor peso y fueron estadísticamente diferentes al suelo y a SV₄₀ (p<0.05). Estudios en especies aromáticas muestran que cuando se aplica una combinación entre vermicomposta (10 Tha⁻¹) y fertilizante NPK (100:25:25 k/ha), se incrementa significativamente su crecimiento [26]. Lo mismo se reportó en geranio indicando que la combinación de vermicomposta, biofertilizantes y fertilizantes inorgánicos producen un alto crecimiento en plantas [27]

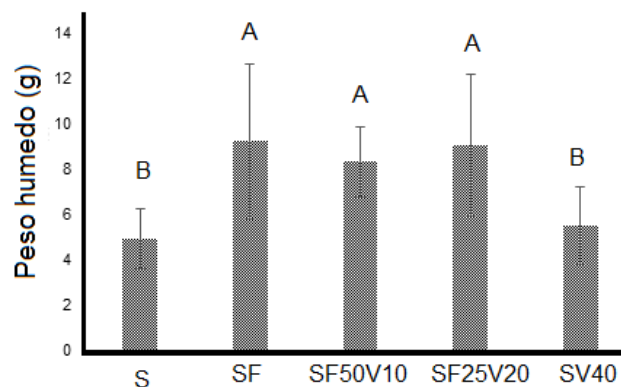


Figura 6. Peso húmedo de la albahaca en los 5 tratamientos (vermicomposta con fertilizante químico).

S: suelo, SF: suelo + 100% de fertilizante (NPK 100:40:40), SF50V10: suelo+ 50% de fertilizante + 10 t ha⁻¹ de vermicomposta, SF25V20: suelo+ 25% de fertilizante + 20 t ha⁻¹ de vermicomposta, SV40: suelo + 40 t ha⁻¹ de vermicomposta. Las literales indican diferencias significativas con p<0.05.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos tras la evaluación bioquímica de los tratamientos se observa que tras adicionar la vermicompostas con mayor tonelaje de LR hay mejor disposición de MO, que puede ser un factor de mayor importancia beneficiando al cultivo de albahaca.

La biomasa microbiana, la respiración basal orgánica se encuentran altos debido a la presencia de residuos orgánicos que se encuentran en el LR y Abono Equino (vermicomposta)

La actividad de la catalasa aumento en los cultivos tratados con vermicomposta, lo que indica que los tratamientos con LR y abono equino fueron de mayor importancia para que la actividad enzimática aumentara

Los valores altos de qCO_2 reflejan la sensibilidad de los microorganismos del suelo al adicionar fuentes Nitrógeno y de Carbono (Vermicomposta).

Finalmente las relaciones $SF_{25}V_{20}$ y SV_{40} se determinaron como las más aptas para un uso agrícola en un cultivo de albahaca, mediante la evaluación de propiedades bioquímicas como ciertos indicadores de suelo así como su dinámica de estos.

5. Referencias

- [1] Martínez, S.M, Gutiérrez-Romero, V Jannsens, M Ortega-Blu, R y (2010). Biological soil quality indicators: a review. En Méndez-Vilas A. Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. A. Volumen 1 editorial FORMATEX. Pp 319-328.
- [2] Hill S.J., Pallanca J., Trier C. y Jury S. (2012). A study of the uptake of heavy metals by fodder maize grown with municipal solid waste/sewage sludge derived compost. Toxicology Environmental Chemistry. 55, 215-233. doi: 10.1080/02772249609358837.
- [3] Puglisi, E., Del Re, A.A.M., Rao, M.A. y L. Gianfreda. (2006). Development and validation of numerical indexes integrating enzyme activities of soils. Soil Biology and Biochemistry 38: 1673–1681. doi:10.1016/j.soilbio.2005.11.021.
- [4] Plaza C., Hernández D., García-Gil J. C., y A. Polo. (2004). Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions. Soil Biology and Biochemistry. 36. 1577-1585. doi:10.1016/j.soilbio.2004.07.017.
- [5] Perdomo, C; Barbazán, M. y Durán, J. (2004). Nitrógeno. Universidad de la República. Montevideo-Uruguay.
- [6] Acosta y Paolini, J. (2006). Dinámica de la Biomasa Microbiana (C y N) en un suelo de la Península Paraguaná tratado con residuos orgánicos. Multiciencias 180-187. ISSN: 1317-2255.
- [7] Chowdhury A.B.Md M.B., Konstantirron F. Damati A., Akratos C.S. Vlastos D., Tekerlekopoulou A.G., Vayena D.V. (2015) Is physicochemical evaluation enough to characterize olive mill waste compost as soil amendment? The case of genotoxicity and cytotoxicity evaluation. Journal of Clearner Production. 93: 94-102. doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.029.
- [8] Schindlbacher A., Rodler A., Kuffner M., Kitzler B., Sessitsch A. y S. Zechmeister-Boltenstern. (2011) Experimental warming effects on the microbial community of a temperate mountain forest soil. Soil Biology and Biochemistry. 43. 1417-1425. doi:10.1016/j.soilbio.2011.03.005
- [9] Parkinson R.J., Fuller M.P. y Groenhof A.C. (2000). An evaluation of greenwaste compost for the production of forage maize (*Zea mays* L.). Compost Science Utilization. 7, 72-80. doi.10.1080/1065657X.1999.10701955.
- [10] Anderson T.H., Domsch K. H., (1985) Determination of ecophysiological maintenance carbon requirement of soil microorganisms in a dormant state. Biological and Fertility of Soil. 1(2): 81-89. doi 10 1007/BFv00255134.
- [11] Santos B. V., Araújo, S.F.A., Leite, F.C.L., Nunes, A.P.L.L. y J. W. Melo. (2012). Soil microbial biomass and organic matter fractions during transition from conventional to organic farming systems. Geoderma 170. doi:10.1016/j.geoderma.2011.11.007

- [12] Romero E., Fernandez-Bayo J., Castillo J. M., R. Nogales. (2010). Enzyme activities and diuron persistence in soil amended with vermicompost derived from spent grape marc and treat urea. *Applied Soil Ecology*. 44: 194-204. doi:10.1016/j.apsoil.2009.12.006
- [13] Bremner J.M. (1965) Nitrogen availability indexes, Inc: C.A. Black et al. (ed) *Methods of soil analysis*, Part. 2, Agronomy 9: 1324-1345. Am. Soc. of Agrom. Madison, Wis.
- [14] SEMARNAT (2000) Norma Oficial Mexicana NOM-021 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial*, martes 31 de diciembre, 2002. Página en red: www.semarnat.gob.mx/.../NOM.021-RECNAT-2000.pdf. (Consultada el 22 de agosto del 2010).
- [15] Walkley A., Black I.A. (1934). An Examination of Degradation Method for Determining Soil Organic Matter and Proposed Modification of the Chronic Acid Titration Method *Soil Science*. 37, 29-37.
- [16] Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S. (1987). Microbial biomass measurements in forest soil. The use of the Chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 19, 697-702. doi 10.1016/0038-0717(87)90052-6.
- [17] Alef, K., Nannipieri, P. (1995). *Methods in applied soil microbiology and Biochemistry*. Academic Press. London. 450 p.
- [18] Johnson J.L., Temple K.L. (1964) Some variables affecting the measurement of "catalase activity" in soil. *Proceedings of the Soil Science Society of America*. 28, pp. 207-209.
- [19] Bastida, F; Zolnay, A; Hernández, T. Y García, C. (2008). Past and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma* 147: 159 – 171. doi:10.1016/j.geoderma.2008.08.007. [20] Schipper L.A, Sparling G. P. (2000) Performance of Soil Condition Indicators Across Taxonomic Groups and Land Uses. *Soil Science Society American Journal*. 64:300-311. doi10.2136/sssaj2000.641300x
- [21] Iglesias-Briones M.J.I., Barreal M.E., Harrison A.C., Gallego P.P. (2011) Earthworms and nitrogen applications to improve soil health in a intensively cultivated kiwifruit orchard. *Applied Soil Ecology*. 49: 158-166. doi:10.1016/apsoil.2011.006.02.
- [22] Alexander .M. (2007). *Introduction to soil Microbiology* (2a ed.). New York: Wiley & Sons. 456-457. ISBN: 0894645129.
- [23] Hernández T. Moral R., Pérez-Espinoza A., Moreno-Casellas J., Pérez-Murcia M.D. García C. (2002). Nitrogen mineralization potential in calcareous soils amended with sewage sludge. *Bioresource Technology*. 83: 213-219. doi 10.1016/S0960-8524(01)00224-3
- [24] García C. y Hernández M.T. (2000). Investigación y perspectivas de la enzimología de suelos en España. Consejo superior de investigaciones científicas. Centro de Edafología y Biología aplicada a los suelos, Murcia, España.
- [25] Gil-Sotres, F., Trasar. Cepeda, C., Leiros, M.C y S. Seoane. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry* 37:877-887. doi:10.1016/j.soilbio.2004.10.003
- [26] Bufalo, J., Cantrell, C.L., Astatkie, T., Zheljazkov, V.D., Gawde, A., Boaro, C.S.F. 2015. Organic versus conventional fertilization on sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) growth in a greenhouse system. *Industrial Crops and Products*. 74: 249-254. doi:10.1016/j.indcrop.2015.04.032.
- [27] Cabanillas C., Stobbia D., Ledesma A. (2013) Production and income of basil in and out of season with vermicompost from rabbit manure and bovine ruminal contents alternative to urea. *Journal of Cleaner Production*. 47: 77-84. doi:10.1016/j.jcleopro.2013.02.012.

Tecnologías alternativas para el manejo apropiado de residuos sólidos orgánicos de pequeña y mediana capacidad

Aníbal Quispe Limaylla

Profesor Investigador del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5, Carretera Federal México - Texcoco, Estado de México. Telf. 015959520200, ext. 1854, anibalq@colpos.mx

Resumen

A pesar del avance tecnológico para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos, especialmente en los países desarrollados, la situación crítica que viven las ciudades por la creciente cantidad de esos materiales, ha sido de preocupación. En los últimos años, en lugar de concentrarse en políticas tendientes a su reducción, el reciclado y la recuperación, se orientaron al uso de tecnologías no sustentables. En los recientes años surgieron una serie de tecnologías, en torno a la incineración, para generar energía, a la que califican como “renovables”. Tales tecnologías que incluyen la “gasificación”, la “pirolisis” y el “arco de plasma”, no han demostrado ser eficaces. La solución adecuada, según especialistas en el tema, considerando los aspectos sociales, ambientales y económicos, es la implementación de programas denominados de “Basura Cero”, que tiende a la minimización, reutilización y reciclado de residuos. Esta propuesta tiene coincidencias con el enfoque de manejo de los RSU, especialmente los orgánicos, a pequeña o mediana escala, con participación de la sociedad. En este entender y con el propósito de contribuir a resolver dicho problema, desde hace casi 20 años, un grupo de investigadores hemos probado y generado tecnologías para manejar residuos orgánicos de pequeña y mediana capacidad, con enfoque local y participativo. En este trabajo describimos su naturaleza, aplicación y resultados obtenidos. El método empleado fue de carácter mixto, en el que se combinaron procedimientos experimentales y sociales. Los resultados indican que las tecnología generadas, son funcionales y permite generar productos (composta) de calidad, muy apropiados para la agricultura que procura la sustentabilidad.

Palabras clave: compostaje, desarrollo local, escala humana, tecnología apropiada.

1. Introducción

1.1. La problemática de los residuos sólidos urbanos (RSU)

En México, así como en otros países en desarrollo, las actividades de la moderna sociedad de consumo, el crecimiento demográfico y el incremento de las industrias, han generado un incremento de la producción de residuos, de forma exponencial en las últimas décadas, siendo los de naturaleza orgánica o biodegradable alrededor de cincuenta por ciento. Por diversas razones, la componente orgánica, escasamente ha sido manejada adecuadamente. En los recientes años, a pesar de que con frecuencia se ha insistido en un manejo apropiado de esta componente, la respuesta ha sido aun débil. En México, la escasa intervención en el manejo apropiado de los residuos sólidos orgánicos (RSO), ha generado contaminación de los suelos, agua superficial y subterránea, el aire y en general al ambiente en que vivimos [1].

Sobre el tratamiento de los RSU [2], basado en un diagnóstico realizado de los países de América Latina y El Caribe, señala que la región enfrenta serios problemas. El estudio identificó diversos aspectos críticos agrupados bajo seis categorías: 1) institucional y legal; 2) técnica y operativa; 3) económico- financiera; 4) salud; 5) ambiente; y 6) social y comunitaria. Si bien estos son los aspectos que deben considerarse para la solución del problema de los RSU, los intentos de solución en los últimos 40 años, han estado orientados por el paradigma industrial a gran escala. Aunque en los países de América Latina y el Caribe éstos han sido todavía incipientes, en los llamados desarrollados, han sido muy claros e influyeron en los primeros. En general, se ha intentado resolver el problema de los RSU a través de tecnologías que procesan grandes volúmenes, con las consecuencias de su insostenibilidad, económico, social y ambiental. Sobre el particular [3] señala que en lugar de concentrarse en políticas tendientes a la reducción en la generación, el reciclado

y la recuperación de los materiales que componen los RSU, se presentan falsas soluciones que sólo agravan el problema. Una de ellas, quizás la más conocida, es la incineración o combustión de los RSU (Cuadro 1). Esta opción ha sido sistemáticamente rechazada por las comunidades debido a sus emisiones tóxicas y porque representa la antítesis del manejo racional de los residuos, ya que ignora el valor existente en su composición, señala dicho autor. Esta tecnología opta por destruir los RSU dejando como resultado emisiones tóxicas y cenizas que requieren de una disposición segura.

Tabla 1. Destino de residuos urbanos, por tipo de tratamiento y disposición final, en algunas regiones y países desarrollados.

País o Región	Incineración (%)	Compostaje (%)	Recuperación de materiales (reciclaje) (%)	Relleno sanitario (%)
Estados Unidos	17	4	24	55
Canadá	7	-	12	81
Unión Europea	17	5	10	68
Japón	63	3	20	14

Fuente: Ministerio Nacional del Medio Ambiente del Gobierno de Chile (2001)

Para otorgarle un valor añadido a esta tecnología, comenzó a promoverse la incineración “con recuperación de energía”, es decir, utilizar el calor producido en las calderas para generar vapor y así mover una turbina generadora de electricidad. Este sistema, además de los problemas ya mencionados, implica la necesidad de asegurar un flujo permanente de residuos, que va en contra de toda política de minimización de RSU y su balance energético es negativo en la mayoría de los casos [3].

El mismo autor recalca que en los últimos años surgieron una serie de tecnologías que prometen superar los problemas ya conocidos de la incineración convencional y, a su vez, generar energía, a la que califican como “renovable”. Tales tecnologías incluyen la “gasificación”, la “pirólisis” y el “arco de plasma”. Estas nuevas propuestas prometen solucionar la gestión de los RSU. Sin embargo, han estado probándose sin alcanzar un grado de madurez tal que las convierta en opciones realistas. Por el contrario, subsisten grandes interrogantes debido a los problemas que aún deben superar.

En lo que se refiere al tratamiento de los RSO, si bien la industria del compostaje en los Estados Unidos ha aumentado enormemente durante los últimos 40 años, han tenido también problemas de calidad, por ello se ha visto en la necesidad de establecer regulaciones y herramientas que permitan la medición de los índices de calidad y de factibilidad económica [1].

En América Latina y El Caribe, sobre el manejo de los RSO, según [1] se cuenta con un inventario sobresaliente de plantas de composta, pero un número importante no está en operación, y de las que si operan, la mayoría está enfocada al compostaje de residuos de la poda, y la composta es para uso interno del estado. En el caso de México, el autor señala que ha desarrollado más plantas activas y en operación, sin embargo muchas de ellas son aun a nivel experimental y para prácticas escolares, más que para resolver un problema real o aprovechar un recurso en forma sustentable.

Propuestas teóricas para el tratamiento de los RSO

Frente a la problemática descrita en párrafos anteriores sobre el tratamiento de los RSU y particularmente de los RSO, es necesario considerar otras propuestas con enfoques distintos a los aplicados. Una de ellas es la que propone Greenpeace Argentina [3] que consiste en el sistema de gestión de residuos conocido como “Basura Cero”. Esta propuesta considera que la gestión de los residuos municipales debe diseñarse con una

visión de largo plazo, adoptando criterios que no afecten el ambiente y la salud de la población, y permitan minimizar el despilfarro de valiosas materias primas que componen los residuos. La propuesta indica que la solución adecuada, en términos sociales, ambientales y económicos, es la implementación de programas denominados de “Basura Cero”, que tiendan a la minimización, reutilización y reciclado de residuos, con metas concretas en la reducción de la basura que se destina a rellenos o basurales ya que es el único que no genera contaminación ni afecta a la salud, recupera recursos que no deberían derrocharse, reduce el consumo de energía y disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero.

La propuesta descrita en párrafo anterior no sería posible si se continúa bajo el enfoque de manejo de los RSU a gran escala, como se ha intentado con el enfoque convencional señalado. Ahora debe emplearse un enfoque que tenga de base la participación ciudadana y las acciones se realicen, en pequeña y mediana escala, a nivel del hogar, las escuelas, los barrios, colonias y unidades habitacionales, contrario a lo que se ha intentado manejar a gran escala y en grandes volúmenes, con resultados desastrosos de contaminación ambiental [3]. Esta propuesta también tiene su sustento en lo señalado en el Capítulo 21 del Programa 21 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo 1992.

Esta propuesta tiene fundamento en que para resolver los problemas que aquejan a la sociedad, las acciones deben ser realizadas con la participación de la gente, en un ambiente de responsabilidad compartida y solidaridad, desde lo local, que implica el trabajo en pequeña escala [4]. Este autor señala que las nuevas realidades sociales demandan actuaciones integradas en *"estrategias de desarrollo del territorio, de desarrollo local"*. En este sentido, la integración social y el desarrollo local son dimensiones esenciales e inseparables desde un enfoque del Trabajo Social Comunitario centrado en la gestión de estrategias de análisis e intervención integrada y sostenible en el ámbito municipal.

La participación se encuentra profundamente vinculada con el desarrollo humano sostenible y social, siendo una de las claves en las que se sustentan las Políticas Sociales vinculadas con la integración social. El carácter interdependiente de los problemas y las transacciones entre actores requiere de la implementación y gestión de programas y proyectos estratégicos, integrales, transversales y participados, cuyos *propietarios y protagonistas* sean los ciudadanos.

En el contexto de la aplicación de los principios del desarrollo a escala humana, la generación y uso de la tecnología tiene que ser congruente con esos principios. La tecnología a usarse debe ser amigable, con rostro humano, que retome el control del trabajo que hoy tienen las máquinas y ponerlo de nuevo en las manos del trabajador común. Se trata sólo de devolver una escala humana a nuestra sociedad, de que la gente de una vez se haga cargo de su propio destino. Se trata de derrocar la máquina por el bien de la herramienta [5]. Como dijera Gandhi, no necesitamos producción en masas, sino producción a cargo de las masas.

Sobre el particular [6], basado en numerosas experiencias en el mundo, nos indica que es posible una economía en pequeña escala, al lado de la gran escala; que es más saludable, que es más solidaria y que es mentira que los emprendimiento pequeños no pueden sustentarse en razón “de los costos”. También demostró que la tecnología en pequeña escala es más sana, no contamina, y en ese sentido es el verdadero aliado de la humanidad, siempre puesta a su servicio. En este mismo sentido, el autor enfatiza que “hoy, sufrimos una idolatría del gigantismo casi universal, frente a lo cual se debe insistir en las virtudes de lo pequeño, en donde sea factible”.

En síntesis, la propuesta teórica señaladas en párrafos anteriores, no es ajena ni contraria a lo que debe guiar la solución de la problemática de los RSU y particularmente de los orgánicos. En efecto, la gestión de los residuos urbanos que ha prevalecido hasta la actualidad ha estado orientada por la forma tradicional de concebir el problema y solucionarlo. La gestión de los RSO no ha sido integral, escasamente ha considerado la participación e inclusión de la gente, se ha trabajado generalmente para manejar grandes volúmenes de RSU, en forma inapropiada, con las consecuencias ambientales que preocupan.

1.3. Las bases biológicas para el manejo apropiado de los RSO

Todo ser vivo al morir, por naturaleza, sus componentes regresan a su origen (tierra, polvo), para nuevamente servir de nutriente a las plantas. Los residuos orgánicos que a diario genera el ser humano, como parte de sus actividades vitales, económicas y sociales, son materiales que, después de un proceso de descomposición, se convierten en tierra. Este principio ocurre en la naturaleza y es conocido por el ser humano desde tiempos remotos, sin embargo, en la actualidad, éste es escasamente usado en beneficio de la propia humanidad [7].

Sobre lo anterior, Del Val [8] señala la paradoja de la situación de los RSO, ya sea de origen urbano, industrial, agropecuario o forestal. Explica que por un lado, nos encontramos con el enorme déficit de materia orgánica de nuestros suelos, por otro lado, el incorrecto tratamiento o simple abandono de estos residuos que ocasiona gravísimos daños al medio, contribuyendo a agravar considerablemente el otro gran problema ecológico: la contaminación del agua dulce, así como a incrementar los costos de tratamiento (vertederos controlados, incineración) y a fomentar la incultura ecológica, incluida la parte que afecta a los agricultores y el rechazo social de la gestión de los residuos.

De acuerdo a numerosos estudios biológicos, químicos, físicos y agronómicos, la materia orgánica muerta puede ser usada para obtener recursos útiles para la humanidad, como el compost (composta) y la biodegradación para obtener biogás. Según Candelaria García, *et al.* [9] La *composta* se define como el producto de la degradación aeróbica de residuos orgánicos. Es un material inodoro, estable y parecido al humus que no representa riesgo sanitario para el medio ambiente natural y social. Se produce bajo condiciones controladas que recrean, favorecen y, en ocasiones, aceleran las condiciones naturales de generación del humus.

El proceso por el cual se elabora composta se ha denominado “compostaje”. Este es definido como una *fermentación controlada de los residuos orgánicos*, proceso biooxidativo de sustancias heterogéneas con el paso por una etapa termófila (de calentamiento), produciendo materia orgánica estabilizada. Es un proceso básicamente microbiológico que depende del crecimiento y la actividad de las poblaciones bacterianas y de hongos, que son fundamentalmente originarios de los propios residuos orgánicos. Los microorganismos obtienen de este modo, nutrientes y energía para su actividad y convierten el material orgánico en un compost estabilizado [10]. Se puede realizar en condiciones aerobias o anaerobias, es decir aireado en presencia de oxígeno o en ausencia de este [11]. Al finalizar el proceso, la composta es estable, esto es, no se descompone, no crecen en ella animales, hongos o bacterias y puede almacenarse largo tiempo sin perder sus propiedades.

Las tecnologías para el compostaje son variadas y los productos finales también varían en su composición, color, textura, etc., según los residuos y el proceso que les dio origen. Durante el último siglo se han realizado diversos experimentos que han permitido conocer en gran medida los fundamentos científicos relacionados con el compostaje. El desarrollo de técnicas para la elaboración de composta data de tiempos inmemoriales; en China, esta técnica es conocida desde hace más de 6000 años. Los residuos orgánicos (residuos de la cocina, paja, ramas, hojas, estiércol, etc.) son la materia prima para la producción de la composta que se puede producir a escala doméstica, comercial y municipal.

Desde hace más o menos cuatro décadas, la tecnología para el compostaje se ha visto mejorada con el uso de lombrices de tierra (*Lombricus terrestris*); a este proceso se le ha denominado lombrí o vermi compostaje. El vermi-compostaje es una técnica de compostaje que utiliza la capacidad de las lombrices para tratar los residuos orgánicos generando un producto, el humus de lombriz, de excelentes propiedades para el cultivo de las plantas. Es una biotecnología basada en la cría de lombrices para la producción de humus a partir de un sustrato orgánico. Es un proceso de descomposición natural, similar al compostaje, en el que el material orgánico, además de ser atacado por los microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras, etc.) existentes en el medio natural, también lo es por el complejo sistema digestivo de la lombriz. Son numerosas

las especies de lombrices que son usadas para el compostaje, por sus cualidades de ser prolíficas, consumo abundante de materia orgánica y rusticidad. A este tipo de lombrices se les denomina composteras [12].

En general, la composta, obtenida adecuadamente, es una mejoradora del suelo porque:

- Favorece la aireación y la retención de humedad. Junto con las arcillas fomenta la formación de agregados más estables. En suelos arenosos ayuda a la retención del agua.
- Mejora la estructura del suelo. Por esta característica y porque permite la absorción del agua, es un agente preventivo de la erosión.
- Favorece el almacenamiento de nutrientes y su disponibilidad para los vegetales.
- Provee un medio donde infinidad de microorganismos se desenvuelven; algunos procesan los residuos para convertirlos en humus y otros procesan el humus para aprovecharlo o generar alimento para otros. Es la “casa” del sistema vivo del suelo.
- Favorece la absorción de los rayos solares debido a su color oscuro y, por tanto, el aumento de la temperatura del suelo en ciertas estaciones del año.

Finalmente, si bien, ya son conocidos los procesos biológicos para la descomposición de la materia orgánica, todavía se requieren avances en cuanto a la tecnología y la infraestructura para lograr, con eficacia y eficiencia, los productos requeridos y deseados. Un paso importante para ello es tomar en cuenta la clasificación más conveniente de los residuos orgánicos que el ser humano genera cotidianamente. En términos generales, los RSO pueden ser clasificados en tres grandes grupos, según su origen: 1) sector primario que incluye todo lo proveniente de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales; 2) sector secundario, los residuos industriales (agroalimentarios, textiles, etc.); y 3) sector terciario, los residuos urbanos (residuos de los mercados, restaurantes, casas, escuelas, entre otros). Es muy importante considerar esta clasificación para un manejo apropiado y para obtener un producto de calidad. Para lograr este último, uno de los requisitos básicos es que el material orgánico no se haya mezclado con otros para evitar su contaminación, por lo cual, la separación debe realizarse en el origen.

Con base en la problemática descrita y las propuestas teóricas señaladas, el propósito de la investigación fue generar y probar dos tecnologías para el compostaje de residuos orgánicos de pequeña (a nivel familiar) y mediana magnitud (colonia o barrio), en este último caso, con participación comunitaria. En este escrito, se describen la metodología seguida, los resultados logrados y las conclusiones a las que arribamos.

2. Metodología

2.1. Descripción general

El método general empleado fue el de investigación-acción, con procedimientos cuantitativos, como la experimentación y cualitativos, como la observación directa y entrevistas a los participantes. Se generaron dos tipos de tecnologías: 1) para el manejo de los RSO a nivel familiar o doméstico y 2) para el nivel de colonia. Ambas ideas surgieron en respuesta a la necesidad de atender lo que la gente deseaba y lo que los especialistas sobre el tema reclamaban. Para someter a prueba las ideas iniciales de las dos tecnologías propuestas, se utilizó el método particular iterativo con prueba y error. Las variables utilizadas para ambos casos fueron: a) capacidad en cuanto a volumen de RSO a ser manejado, b) funcionalidad de la tecnología, c) durabilidad, d) costo, y e) calidad del producto generado con las tecnologías. En ambos casos se consideraron el manejo de los RSO con lombrices.

2.2. Características de las tecnologías

2.2.1. Compostera familiar. La idea surgió como resultado de numerosas sugerencias, en la bibliografía y foros, de que se puede hacer composta en el jardín o traspatio. Se sugerían hacer hoyos y enterrar los RSO una vez separada o usar contenedores de materiales usados. Por la propia experiencia y referencias de terceros, ninguno ha funcionado, sobre todo por las limitaciones para el manejo de los materiales en proceso

de descomposición y extracción del producto final. Para superar estos inconvenientes se diseñó un recipiente, inicialmente de material metálico y posteriormente de fibra de vidrio. El recipiente consistió en una caja vertical de 1.40 m de alto, 0.80 m de largo y 0.40 de ancho (Fig. 1).

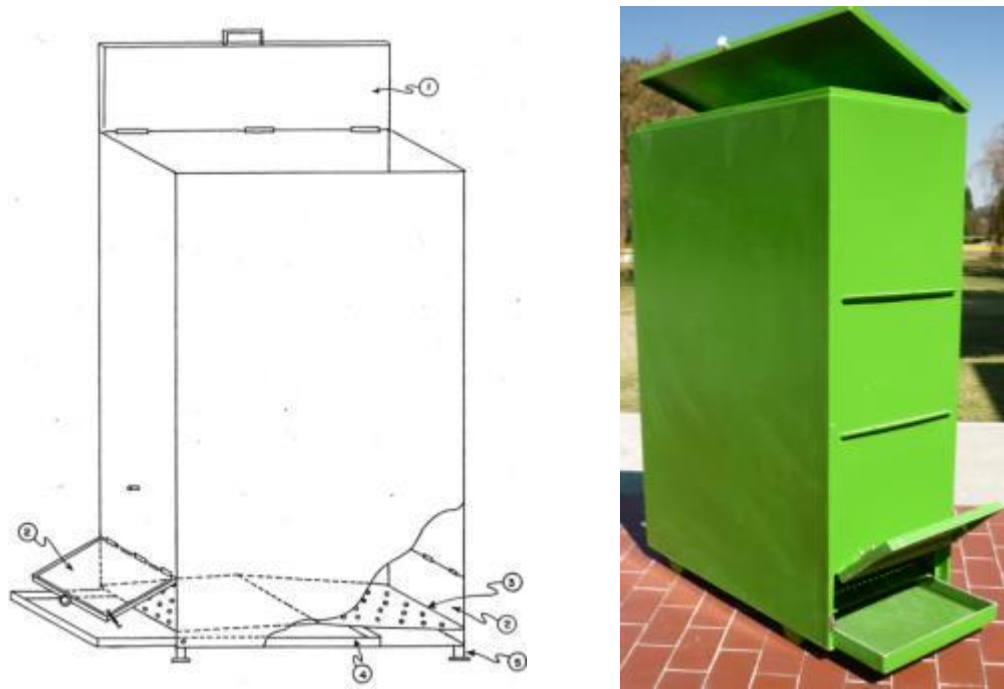


Figura 1. Compostera para uso familiar

El recipiente se soporta en cuatro patas de base ancha para evitar su hundimiento por el peso, sobre todo en época de lluvia. En la parte superior posee una tapa con bisagra, el cual se abre sólo para introducir el material a ser composteado. En la parte inferior de los costados del recipiente van unas portezuelas igualmente con bisagra, las cuales se abren sólo cuando se va extraer el material composteado. Para soportar el material en descomposición, por dentro va una base cribada en forma de V invertida con el fin de facilitar la extracción cuando se requiera. Por debajo de la base cribada va una charola para captar los lixiviados y finalmente en los costados de la parte media superior del recipiente, van dos rendijas que sirven como respiraderos y para introducir las lombrices. El espacio necesario para su ubicación no debe ser mayor de 1.50 metros cuadrados.

Los recipientes con las características señaladas se implementaron en los espacios de cinco familias y posteriormente en los de mayor número de familias. Previo al uso se explicó a cada representante familiar sobre el funcionamiento.

2.2.2. Composteras horizontales. También denominadas “camas”, están construidas de cemento, arena y bloques; cada una tiene una dimensión de 3.00 m de largo, 1.00 m de ancho y 0.35 m de alto, con capacidad para recibir 1,000 kilos de residuos orgánicos. La base o el lecho debe tener una pendiente de 0.15% para favorecer la filtración del líquido en caso de exceso, sobre todo en época de lluvia. Estas dimensiones son apropiadas para favorece el proceso de descomposición, el trabajo de las lombrices y el manipuleo cuando se requiera. El largo de la compostera y el número puede variar según la cantidad de RSO disponibles para el compostaje y la superficie del terreno. Lo recomendable es que sea de dos hileras con un pasillo de 1.20 m de ancho en el medio para facilitar la introducción del material a ser composteado y extraer el producto (composta). Con el propósito de captar el lixiviado de cada cama, al centro del pasillo y enterrado va un tubo colector de 6 pulgadas de diámetro que conecta a tubos de menor calibre que están, a su vez, conectadas con un filtro en la superficie del frente de cada cama (Fig. 2). El área de compostaje se cubrió con malla

sombra a una altura de 2.80 m, con el fin de mantener la humedad del material en proceso de descomposición y el ingreso de depredadores, como pájaros, ratas y ratones [13].

Esta tecnología se implementó en una colonia de aproximadamente 250 familias de la ciudad de Texcoco. La superficie usada fue de 800 metros cuadrados, en la que se construyeron 30 camas, con las especificaciones señaladas en párrafo anterior. Este se construyó con la autorización y participación de las autoridades y ciudadanía local. El funcionamiento estuvo a cargo de personas voluntarias. En forma similar respecto a la tecnología pero a nivel familiar, se implementó en dos comunidades rurales en el estado de Tlaxcala, con participación total de 20 familias [14].



Figura 2. Composteras horizontales

3. Resultados y discusión

En este apartado se presentan y discuten los resultados logrados en función de los objetivos de la propuesta. Este se hace teniendo en cuenta las siguientes variables consideradas en la investigación: a) capacidad en cuanto a volumen de RSO a ser manejado, b) funcionalidad de la tecnología, c) durabilidad, d) costo, y e) calidad del producto generado con las tecnologías.

3.1. Capacidad en cuanto a volumen de RSO a ser manejado

Para el caso de la *compostera familiar*, con las dimensiones mencionadas, la capacidad es para manejar alrededor de 200 Kg/mes. Este es apropiado para una familia de 3 o 4 miembros que genera diariamente 2.0 Kg de RSO en promedio. Las dimensiones pueden variar ligeramente, pero no debe perder la forma vertical para el descenso paulatino del material en descomposición y la accesibilidad (altura) para verter los RSO. En el caso de las *composteras horizontales* de cemento y tabicones, la capacidad es para recibir aproximadamente 1000 Kg de RSO con las dimensiones mencionadas. En este caso también se puede ampliar la capacidad pero sólo adicionado la dimensión del largo; no variar el ancho ni la altura porque al aumentar la altura, reduce la aireación del material en descomposición (a mayor altura menos oxígeno en el fondo). El proceso de descomposición es aeróbico por lo que se requiere suficiente oxígeno en todo el material. En el caso del ancho, un metro es suficiente y apropiado para hacer el manejo y manipuleo del material en descomposición de cualquiera de los costados. Si se quiere manejar mayores volúmenes de RSO, construir el número de camas necesarias. Para este caso, construir dos camas pegadas, a la que llamamos “camas gemelas” y dejar un espacio de 0.50 m entre las gemelas para hacer los manipuleos requeridos desde los costados.

3.2. Funcionalidad

En los dos casos la funcionalidad ha sido excelente, siendo ligeramente menor en el de las composteras familiares. En este caso, el proceso de descomposición ha sido ligeramente más tardado; si en las composteras horizontales el promedio de tiempo para obtener la composta ha sido de 3.5 meses, en

promedio, en la familiar fue de 4 meses. Este se debe, en buena medida a que la aireación es menor y no hay manera de cómo favorecer dicha aireación. En ambos casos el acceso para verter el material a ser composteado y la extracción del producto es apropiado.

3.3. Durabilidad

Para el caso de las composteras familiares, cuando inicialmente fue de lámina metálica, la duración máxima fue de 3 años porque con la humedad las láminas se corroían. Por esta razón y por procurar sea térmica, se decidió que la compostera sea de fibra de vidrio. En este caso la durabilidad es mayor y reduce los cambios bruscos de temperatura durante los días y estaciones de año, lo que favorece el proceso de descomposición y el trabajo de las lombrices. En el caso de las composteras horizontales, la durabilidad es prolongada que puede ser por más de 30 años. Para mantener la durabilidad se recomienda evitar los golpes que desmoronan el revestimiento y las paredes.

3.4. Costo

El costo de una compostera de fibra de vidrio, hace tres años, fue de \$5 mil pesos (US\$ 350.00). Este podía reducirse si la fabricación fuera en mayor número, según el fabricante. Este costo es accesible para una familia de mediano ingreso familiar. En el caso de las composteras horizontales, el costo unitario fue de \$3,800.00 pesos (US\$270.00). Para un módulo de compostaje a nivel de colonia, los costos pueden reducir ligeramente en su construcción, pero aumentaría el costo si se desea agregar las componentes adicionales como el sistema de captación de lixiviado y la instalación de malla sombra, además de un sistema de riego por aspersión para mantener la humedad necesaria en época seca.

3.5. Calidad del producto (lombricomposta)

Debido a que las tecnologías favorecen un proceso de descomposición aeróbico normal, el producto es de buena calidad. Este siempre y cuando el material a ser composteado ha sido separado de otros residuos en el origen, sin que hay habido contacto con otros contaminantes. La descripción del proceso de compostaje en cada caso, escapa los objetivos de este trabajo; sin embargo, en el manual [14], se señalan los pasos a seguir para lograr un producto de calidad. Cabe mencionar que las pruebas de estas tecnologías, como parte de un proyecto mayor, han ido acompañadas con otros componentes, como es el caso de la producción de hortalizas a cielo abierto y bajo invernadero para conocer sus efectos en el crecimiento y producción. Los resultados indicaron efectos favorables. Adicionalmente, para conocer la composición física y química de la lombricomposta, se hicieron análisis en laboratorios del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo de nueve muestras tomadas al azar. Los resultados se muestran en la Tabla 2. Como puede observarse en dicha tabla, el pH en todos los casos fue superior a lo neutro (7.0), lo que indica que las muestras de humus fueron ligeramente alcalinas. Estos resultados son similares al encontrado por Santamaría, citado por Velazco [15]. De acuerdo a este autor, las lombricompostas poseen un pH relativamente elevado, sobre todo cuando son de estiércol cien por ciento puros. Cuando el pH de las lombricompostas supera 8.0, puede afectar al sustrato, pero cuando los suelos son ácidos, ésta tiende a mejorar el pH.

En síntesis, de acuerdo al análisis de laboratorio de las muestras, la mayoría tuvo buenas características físicas y químicas, lo que indica que la lombricomposta producida por las familias fue de buena calidad y apropiadas para la producción de hortalizas, la cual se corroboró en la producción de hortalizas (jitomate, brócoli y otras) en invernadero y a cielo abierto, con excelentes resultados.

Tabla 2. Resultados del análisis físico y químico de las muestras de lombricompostas de las familias de Atlahuetzian y Española, Tlaxcala

Muestra	pH	Conductividad Eléctrica (CE)	Materia orgánica	Nitrógeno N	Fósforo P	Potasio K
		dS m ⁻¹	%		ppm	
1	8.46	11.00	20.00	1.13	6389	2702
2	8.52	10.04	19.00	1.36	6305	2530
3	7.85	5.40	23.25	1.90	4530	7456
4	8.15	15.20	25.81	1.21	10356	5053
5	8.30	7.72	16.94	1.12	5862	3904
6	7.76	16.18	13.60	1.34	6902	2820
7	7.87	1.96	15.37	1.08	2443	2350
8	8.72	6.37	11.00	1.22	7424	3372
9	7.28	2.52	5.95	1.46	3763	8243

Elaboración propia. Análisis efectuado en el Laboratorio de Nutrición de Cultivos “Salvador Alcalde Blanco”, del Colegio de Postgraduados.

Otro producto obtenido del proceso de compostaje con lombrices, como se mencionó en párrafo anterior, fue el lixiviado que los participantes, aunque no todos, los captaron de las composteras y utilizaron en la fertilización de algunos cultivos como maíz, a través de la aplicación al suelo o directamente a las plantas como fertilizante foliar. Este aporte fue producto de la propia iniciativa de algunos participantes que se transmitió entre compañeros y vecinos.

4. Conclusiones

En una época en que ha prevalecido el paradigma del gigantismo para generar riquezas y tratar de resolver problemas de la sociedad, como es el caso de los residuos sólidos urbanos que cada día se incrementa y no tiene solución, debe procurarse un cambio hacia el paradigma local y de pequeña escala, en la que la gente sea partícipe de las decisiones y acciones y los resultados tienden hacia la sustentabilidad. La generación y uso de las tecnologías no deben estar al margen de ese cambio. En este entender, como se mencionó al inicio, se sometieron a prueba dos tecnologías para manejar los residuos sólidos orgánicos de pequeña y mediana capacidad, como alternativa a lo que se ha venido aplicando tecnologías que no han demostrado resultados esperados. Después de más de casi veinte años de trabajo de investigación y experimentación, las tecnologías generadas han demostrado su viabilidad funcional, económica y ecológica para el tratamiento de los RSO a nivel familiar y comunitario, cuyos productos constituyen insumos muy propios para una agricultura sustentable. Con lo anterior se demostró la posibilidad de que la gente participe, en forma directa, en la gestión de los RSO, la cual constituye uno de los rasgos fundamentales del enfoque alternativo de tratamiento de los RSU, que enfatiza el trabajo local y comunitario hacia la sustentabilidad.

Referencias

- [1] Romero-Paredes, R. (2013). Experiencias Internacionales en el Composteo de Residuos Sólidos Orgánicos. Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México. USAID. 83 pp.
- [2] Acurio, G; A. Rossin; P. F.Teixeira; y F. Zepeda (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe. Publicación conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana. Washington, D.C. 130 pp.
- [3] Greenpeace Argentina (2011). Nuevas tecnologías para el tratamiento de residuos urbanos: viejos riesgos y ninguna solución. Informe de evaluación. 38 pp. Visitado el 22 de abril de 2016. <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2010/8/riesgos-tecnologias-residuos-urbanos.pdf>
- [4] Pastor-Seller, E. (2009). Participación Ciudadana y Gestión de las Políticas Sociales Municipales. Primera edición. Universidad de Murcia, 318 pp.

- [5] Max-Neef, M. (1993). Desarrollo a Escala Humana, Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones. Editorial Nordan-Comunidad. Chile.
- [6] Murillo Licea, D. (2004). *Falacias del desarrollo sustentable: una crítica desde la metamorfosis conceptual*. Economía, Sociedad y Territorio, Vol. IV, No. 16, 635-656.
- [7] Lemus, A. (2001). “¿Qué se puede hacer con la basura? Compost y compostaje”. Parte 1. Desde la Ciencia 4: 5 – 13.
- [8] Del Val, A. (2009). Tratamiento de los residuos sólidos urbanos, consideraciones básicas. Primer Catálogo Español de Buenas Prácticas. Construcción de la ciudad sostenible. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente. Madrid, España. <http://habitat.aq.upm.es/cs/p3/a014.html> (Noviembre 2015).
- [9] Candelaria-García M., Navarro-Espinosa, M. G., Velázquez-López, C. N., Velázquez-López, J. (2013). Elaboración de abono orgánico a base de lombriz roja californiana. En: Estudios Agrarios. Procuraduría Agraria. 217-225. Edición especial. México D. F.
- [10] Wilson, G. (2006). Recycling urban organic wastes via rooftop micro farms. Urban Agriculture Network-Western Pacific. www.greenroofs.com. Visitado en mayo de 2011.
- [11] Navarro P., Moral H., Gómez L., Mataix B. (1995). Residuos Orgánicos y Agricultura. Edición electrónica Espagrafic, Universidad de Alicante. España.
- [12] Capistrán, F., Aranda, E. y Romero, J. C. (2001). Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje. S y G editores, S. A. de C. V. México D. F. 150 pp.
- [13] Quispe, A. (2007). Tecnologías Alternativas para la Producción de Alimentos Sanos y Nutritivos. Primera edición. Plaza y Valdés editores. 168 pp.
- [14] Quispe, A. (2010). ¿Cómo manejar y aprovechar la basura orgánica de las ciudades? Manual. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. México.
- [15] Velasco Velazco, J. (2012). Planta piloto de compostaje: Biotecnología de descomposición de residuos orgánicos agroindustriales. Propuesta mecanografiado. Subdirección de Investigación, Campus Córdoba, Colegio de Postgraduados, México.

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos para una pila de composta

¹María del Consuelo Mañón Salas, ¹Isaías De la Rosa Gómez, ¹María del Consuelo Hernández Berriel, ¹Beatriz Juárez Robles, ¹Rafael Ríos García

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, México. Lázaro Cárdenas, Colonia: Llano Grande, Metepec, México. C.P. 52148. Teléfono: 01(722) 2087200 (ext. 3630). Email: consuelomanon@gmail.com

Resumen

Considerando la problemática ambiental y al impacto de los residuos, se han desarrollado técnicas de tratamiento que permiten su revalorización. Entre las propuestas, se encuentra el proceso de compostaje acelerado, tratamiento biológico que ha demostrado su efectividad en la depuración de compuestos con alta carga orgánica como las aguas residuales, biosólidos y la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. Con el fin de obtener un producto de calidad en el menor tiempo posible, fue necesario incrementar el número de pruebas experimentales, análisis químicos y registro de parámetros de seguimiento del proceso (humedad, pH y temperatura), generando en consecuencia un mayor consumo de materiales, tiempo y elevando los costos.

Debido a lo anterior este trabajo tuvo por objetivo implementar una estrategia de control capaz de gestionar información sobre parámetros de seguimiento de una pila de composta a través de un sistema de adquisición de datos (SAD), bajo una plataforma Web con arquitectura cliente-servidor. El SAD fue implementado mediante una tarjeta de código libre Arduino Uno®, y un módulo Ethernet W5100 con sensores de temperatura y humedad de suelo y del ambiente.

Palabras Clave: *Tratamiento, Degradación Aerobia, Automatización*

1. Introducción

La generación de los residuos sólidos constituye un problema ambiental de gran magnitud, debido a la estrecha relación que guarda con la densidad de población en los núcleos urbanos y su contribución con los gases de efecto invernadero. De acuerdo a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), las ciudades del mundo generan alrededor de 1.7 billones de toneladas de residuos por año, se estima que este volumen aumente un 30% para el 2030. En México, la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) es de 34.6 millones de toneladas anuales aproximadamente 94,800 toneladas diarias, con una composición del 53% de residuos sólidos orgánicos [1]. Otra fuente de contaminación son los residuos que generan las plantas tratadoras de aguas (PTAR) o sistemas de depuración, cuyo fin es remover la materia orgánica del agua residual [2]. Sin embargo en el proceso se forman subproductos como los lodos residuales difíciles de tratar, porque en ellos se acumulan los contaminantes que no se destruyeron durante el proceso de tratamiento [3].

La disposición de los biosólidos ha llegado a ser el mayor problema económico y ambiental de las PTAR. Por lo anterior, se han buscado opciones para una adecuada disposición de los residuos. Entre los métodos frecuentemente empleados, se encuentra el compostaje, debido a que ha tenido un impacto positivo en la conservación de los ecosistemas terrestres, en su empleo como mejorador de suelo [4]-[6].

En este sentido con la implementación de la técnica de compostaje acelerado, se ha logrado reducir en un 40% el tiempo promedio de obtención del producto terminado [7]. Sin embargo, el registro de parámetros de seguimiento de las pilas experimentales se realiza de forma manual una vez al día y en horarios que dependen de la disponibilidad de los responsables del estudio. Los cuales también tienen son responsables de realizar otra serie de análisis en laboratorio. Por lo que a veces la muestra se ve afectada debido a la periodicidad de los intervalos de muestreo.

Es aquí donde el sistema de adquisición de datos (SAD) basado en computadora personal toma importancia, al proponerse como solución a la problemática antes mencionada. Los SAD son empleados en laboratorios, en la industria y en educación. Su tarea es tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora [8]. La estructura de un SAD se integra por dispositivos físicos (hardware) que interactúan con el equipo experimental y un sistema lógico (software) encargado de controlar la lectura del hardware, una base de datos y un módulo de procesamiento de la información que realiza el análisis. Tal es el caso de la lectura a través de los sensores de variables físicas como la temperatura, humedad en un medio como el aire, suelo y agua.

En este trabajo se presenta la implementación de un sistema de adquisición de datos, que cumple con la función de monitorear en tiempo real las variables de seguimiento en una pila de composta, tales como temperatura y humedad del suelo y del ambiente, con el fin de reducir incertidumbre en los datos debido a errores humanos, falta de calibración en los sensores, con ello se pretende ganar exactitud en los datos e incrementar el tamaño de la muestra. Además sentar las bases para la implementación de un agente Supervisor

2. Metodología/Desarrollo

Cabe destacar que durante el proceso de diseño y construcción, se buscó principalmente cumplir con los requerimientos de funcionalidad, replicación del hardware y un bajo costo de implementación.

2.1 Análisis del problema

Selección de las variables

Debido a que el compostaje es un proceso biológico donde participan una serie de microorganismos, se consideraron los parámetros de seguimiento que afectan su crecimiento y reproducción. Entre los factores de proceso se encuentran el oxígeno o aireación, la temperatura, la humedad del sustrato, temperatura, pH y de calidad la relación C/N. Los cuales deben permanecer bajo vigilancia constante en la pila de compostaje para que estén en un rango óptimo.

La humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, debido a que usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. El rango óptimo de humedad establecido experimentalmente fue del 30% al 40% de agua en peso de material base, criterio usado para la optimización del proceso.

Temperatura, considerado uno de los parámetros más importante a tener en cuenta durante el proceso de compostaje, debido a su influencia en el crecimiento bacteriano y durante el desarrollo del proceso. Sin embargo el rango de variación se encuentra en función de la fase del proceso de degradación (12°C hasta 65°C) en el que se encuentre la composta [9].

El pH de la composta depende de los sustratos usados y varía de acuerdo a la fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). Define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6.0-7.5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5.5-8.0. El rango ideal es de 5.8 a 7.2 [5].

2.2. Selección del Hardware

Se buscó una plataforma consistente en una placa de circuito impreso (en inglés “printed circuit board”), con diversas entradas y salidas que permitiera el desarrollo de proyectos para el control de objetos interactivos autónomos, de fácil operación y bajo costo. Que fuera compacta y estable en la construcción de circuitos electrónicos y cuyo diseño pudiera ser modificado y que permitiera el envío de datos a través de

una red de área local. En este sentido la placa Arduino UNO (Ver Figura 1) con el modulo Ethernet W5100 (Ver Figura 2) cumplieron con los requerimientos previamente mencionados [10].

El modulo del Arduino Ethernet Shield, se basa en el chip Wiznet W5100 con un buffer interno de 16k que es el encargado de dar una dirección IP al Arduino. Tiene un conector ethernet RJ-45 con una velocidad de 10/100Mb. Emplea la librería <Ethernet.h> para escribir el programa. Tiene un slot de tarjetas micro-SD para almacenar datos para servir a la red. Para esto, se usa la librería <SD.h>. Para comunicarse con la placa Arduino, utiliza el puerto SPI (pins 10, 11 ,12 y 13) con la librería <SPI.h>[11].



Figura. 1. Placa Arduino UNO



Figura. 2. Modulo Ethernet W5100.

Sensores. Son dispositivos capaces de convertir una magnitud física (temperatura, presión, pH) en una diferencia de potencial o una variación de intensidad. Es decir, realizan una conversión de energías y suministran información sobre el estado y tamaño de la magnitud. En esta etapa se buscaron sensores que cumplieran con los requerimientos técnicos requeridos para el SAD, y que fueran compatibles con la placa Arduino. Con respecto al sensor de pH para suelo, no se encontró algún modelo disponible de bajo costo, por lo que tuvo que ser omitido en esta etapa. Para la temperatura se eligió el termopar con el acondicionador de señal AD594 (Ver Figura 3) y para humedad la sonda YL38 y un circuito comparador LM393 (Ver Figura 4).



Figura. 3 termopar con el acondicionador de señal AD594

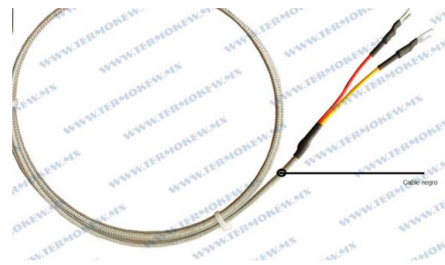


Figura. 4 sonda YL38 y un circuito comparador LM393

2.3 Diseño de los Módulos del sistema de adquisición de datos

En la figura 5 se presenta el diagrama diseñado para la conexión de los sensores. Por medio de la tarjeta de adquisición de datos se convirtieron las señales analógicas a digitales, se estableció la comunicación con la computadora, además de asegurar el enlace entre estos, evitando perdidas de la señal.

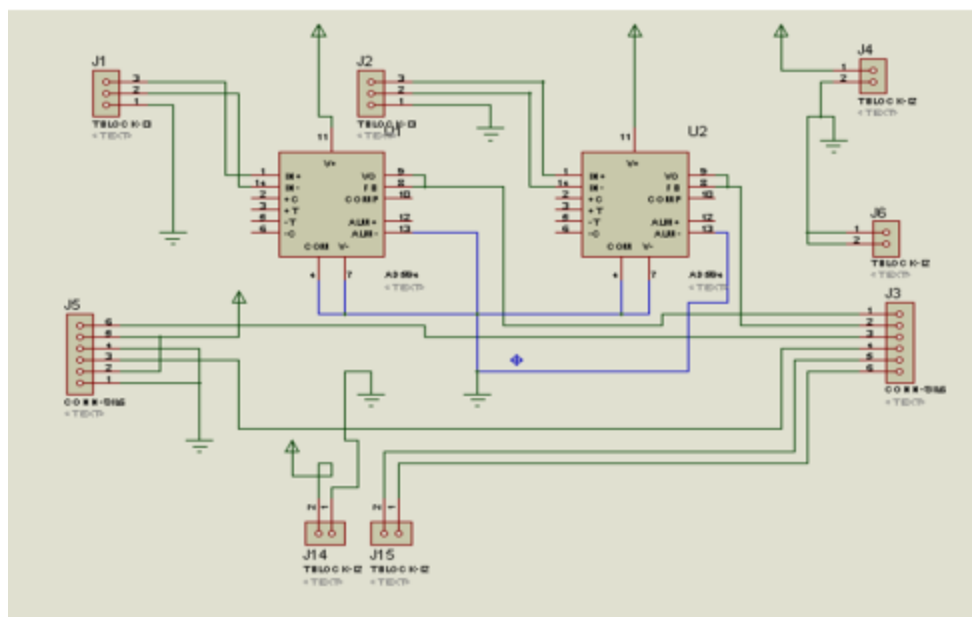


Figura. 5. Diagrama para la conexión de sensores

2.4 Diseño del software

Se empleó el IDE (Integrated Development Environment) de Arduino para escribir y editar el programa objeto “sketch”, a través del cual se estableció la comunicación con la placa de Arduino una vez compilado el programa se grabó en la memoria del microcontrolador de la placa convirtiéndose en un ejecutor autónomo.

El software del servidor se desarrolló mediante la estrategia de prototipos, permitiendo probar varias versiones del sistema de acuerdo a las necesidades del usuario con respecto a las características requeridas del sistema. Asegurando un rápido desarrollo, a través de un proceso interactivo y de bajo costo.

Para la instalación del servidor Web se empleó Appserv, una herramienta OpenSource para Windows con Apache, MySQL, PHP, cuyas aplicaciones se configuran en forma automática, lo que permite ejecutar un servidor web completo. Finalmente la interfaz gráfica del usuario se implementó en php y html y el almacenamiento y gestión de los datos en MySQL, el servidor de páginas WEB fue Apache, cuya función fue atender las peticiones de los clientes desde sus navegadores (Chrome, internet explorer, Mozilla) [12] (Ver Figura 6).

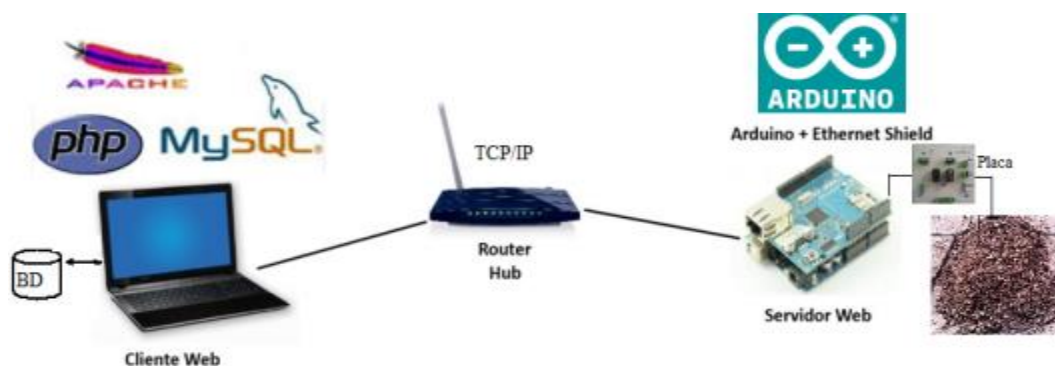


Figura. 6. Arquitectura Web implementada

2.5 Verificación y pruebas

Con el fin de asegurar que el software cumpliera con los requerimientos funcionales y no funcionales. Se probaron los productos diseñados para garantizar su operación de acuerdo con las especificaciones, se diseñó una prueba de integración entre las diferentes partes del sistema (hardware y software). Se verificó la navegación de la aplicación, concluyendo con una prueba de desempeño.

3. Resultados

3.1 Diseño de Hardware

En las figuras 7 y 8 se detalla el diseño de la placa de circuito impreso, con las conexiones de los circuitos integrados AD594 y las conexiones para los sensores de humedad del suelo y las variables de temperatura y humedad del aire.

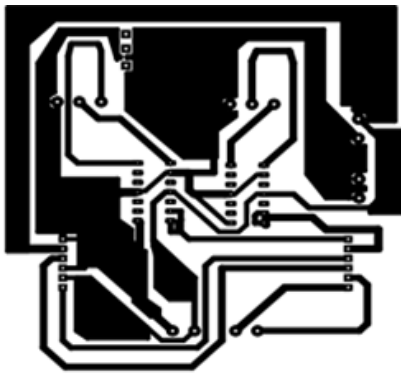


Figura. 7. Placa de circuito impreso

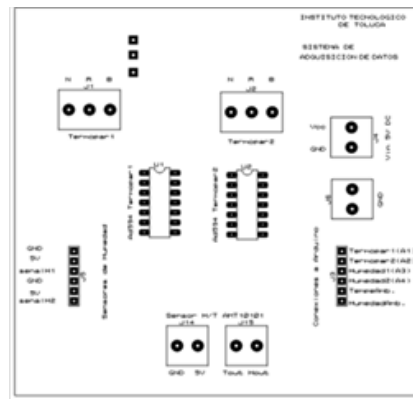


Figura. 8. Mascara de componentes

El servidor Web se configuró en una computadora portátil de la marca Toshiba, con sistema operativo Windows® XP SP3 de 32 bits, un procesador Intel Pentium de 1.86GHz, con Disco duro de 80GB, cuatro puertos USB 2.0, puerto Ethernet y 2 GB de memoria RAM.

3.2 Diseño del Software

En el IDE de Arduino se programaron las lecturas de las variables de seguimiento: temperatura y humedad del suelo por duplicado y temperatura del medio ambiente, se configuró el módulo Ethernet W5100 para establecer comunicación entre la placa Arduino y el puerto Ethernet para el envío de datos, se asignó la “IP Address” como cliente de la red (Ver Figura 9).

```
Sistema_de_adquisicion_de_datos2

Serial.begin(9600);
Serial.println("#### INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA####");
Serial.println("SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS/ web");
// Espera 1 segundo para que se inicie la tarjeta Ethernet
delay(1000);
// Si deseas usar un ip fijo y un DNS fijo descomentar esta linea
// Ethernet.begin(mac, ip, myDns);
// Inicializa la tarjeta ethernet mediante DHCP
Ethernet.begin(mac);
// Imprime la direccion IP de la tarjeta
//server.begin
Serial.print("Direccion IP: ");
Serial.println(Ethernet.localIP());
```

Figura. 9. Fragmento de código del programa objeto de Arduino

3.2 Configuración de la red de área local (LAN)

Se empleó un Wireless SOHO Router de la marca Spark Lan, para configurar la LAN, asignándole una dirección IP privada para crear la red interna, centralizando con ello la comunicación entre la placa de Arduino y los diferentes clientes de la red. Se dejó pendiente la asignación de la IP pública para la salida a internet (Ver Figura 10).

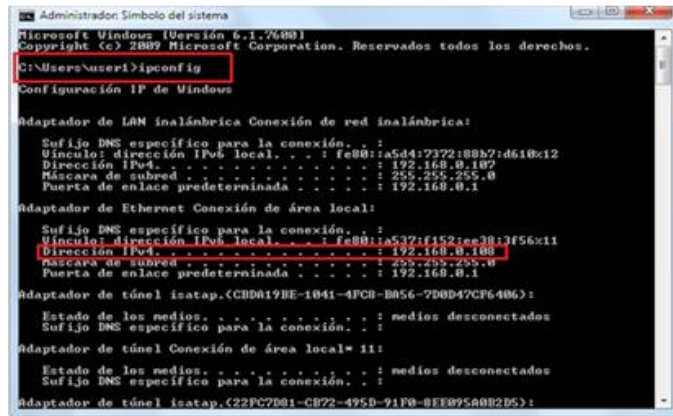


Figura. 10. Configuración de la red de área local

3.3 Servidor Web

En la figura 11 se presenta el contenido del sistema implementado, en el primer nivel se encuentra la página principal (index.html), conteniendo información general del proyecto. En un segundo nivel se le presenta al usuario una serie de opciones para realizar consultas de los datos registrados previamente en la base de datos de diferentes pilas y periodos (menú.php). En el tercer nivel, el usuario puede observar el monitoreo de los datos que están recibiendo desde los sensores a través de la placa de Arduino (registro.php) y que se almacenan en la base de datos.

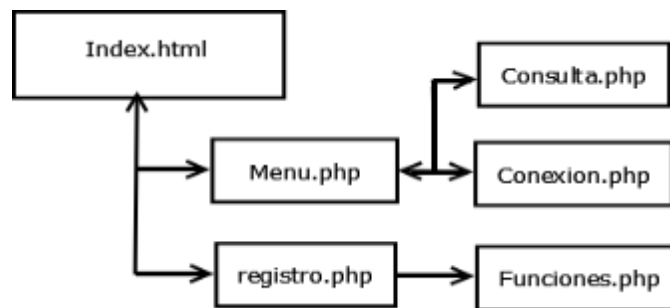


Figura. 11. Diagrama de contenido del sistema Web

3.4 Validación y pruebas del sistema

Entre los requerimientos no funcionales evaluados se encuentran, la implementación del SAD en una plataforma cliente-servidor con una arquitectura Web simple de operar. Entre los requerimientos funcionales evaluados, se encuentra el diseño de una interfaz gráfica amigable, visualización de los datos monitoreados, generación de consultas y gráficos. En la figura 12 se presenta la página principal a través de la cual se accede al SAD, posteriormente se presenta una ventana con opciones de consulta de los parámetros de seguimiento que han sido monitoreados (Ver Figura 13) y una tercera ventana con los datos monitoreados on-line. Con respecto al costo y la replicación del hardware del SAD, se alcanzó un costo total de \$2,718, considerando sensores, componentes y la placa.



Figura. 12. Página principal del SAD

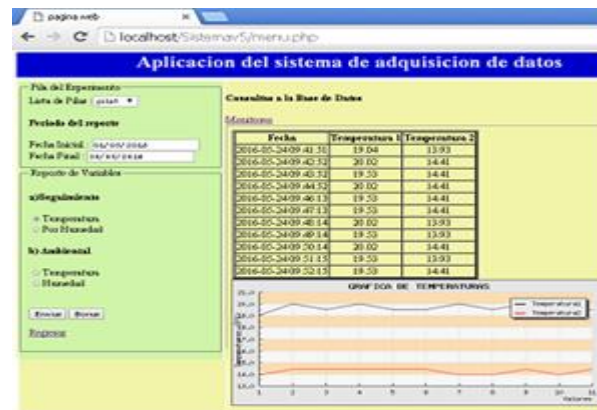


Figura. 13. Opciones de consulta y gráficos

La prueba de desempeño consistió en agregar tres clientes y enviar peticiones de consultas concurrentes al servidor, para verificar tiempos de respuesta y almacenamiento de datos al SAD a la base de datos. Se verificó que no se presentaran interrupciones en la inserción de los datos durante los intervalos programados.

4. Conclusiones

En este trabajo se presentó la implementación de un SAD, bajo una plataforma de hardware de código abierto (Arduino), y su interfaz gráfica en una plataforma web de libre desarrollo (AppServ). Mediante su empleo fue posible reducir costos de ejecución en su implementación, lo que facilitó su replicación.

Con la implementación del SAD, el usuario puede monitorear en tiempo real las variables de seguimiento en una pila de composta, temperatura y humedad del suelo, así como su historial. Con ellos ha sido posible incrementar el número de datos registrados y reducir su grado de incertidumbre.

Como trabajo futuro se pretende diseñar un agente software que apoye a los expertos del área ambiental en el análisis de los datos capturados por el SAD, además de agregar la capacidad de predicción en las dinámicas de seguimiento del proceso, con la posibilidad de detección de fallas en la operación del SAD o bien del mismo proceso.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo para el desarrollo de esta investigación. A la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Toluca.

Referencias

- [1] SEMARNAT (2012). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012. En línea <<http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/gestionresiduos/pnpgir.pdf>> Recuperado el 23/01/2016.
- [2] Conagua, (2014) Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre 2014. SEMARNAT. En línea <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Inventario_Nacional_Plan_tas1.pdf> Recuperado el 20/05/2016
- [3] Mahamud M, Gutiérrez A. y Sastre H. (1996) *Biosólidos Generados en la Depuración de Aguas (I): Planteamiento del Problema*. Ingeniería del Agua. 3(2). En línea

- <<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/3124/33article4.pdf>> Recuperado el 25/01/2016
- [4] Brisolara K., Qi-Yinan (2015). Biosolids and sludge management. *Water Environment Research*, 87(10), 1147-1166(20). DOI: <http://dx.doi.org/10.2175/106143014X14031280667697>
- [5] Rebollido R., Martínez J., Aguilera Y., Melchor K., Koerner I., Stegmann R. (2008). Microbial Populations During Composting Process Of Organic Fraction Of Municipal Solid Waste. *Applied Ecology And Environmental Research* 6(3): 61-67. ISSN 1589 1623 En línea < http://aloki.hu/pdf/0603_061067.pdf> Recuperado 20/05/2016
- [6] Bongochgetsakul N., Ishida T. (2006) Integrated Quantitative Analysis for Designing of Composting *Asian Journal on Energy and Environment*. 7(04), pp. 410-422. ISSN 1513-4121 doi:10.1016/j.jclepro.2012.09.043
- [7] Juárez B. (2014). Obtención de composta a partir de biosólidos y residuos sólidos orgánicos con una relación carbono nitrógeno entre 4 y 8, y en tiempo menor a 3 meses. Tesis de maestría no publicada. Instituto Tecnológico de Toluca. Metepec, México
- [8] Romero R. (2005). Software para un sistema de adquisición de datos en experimentos de física de partículas con tecnología CAMAC. *Ventana Informática* No. 12 – Universidad de Manizales, pp 135-146. En línea < https://www.researchgate.net/profile/RV_Ribas> Recuperado 25/12/2015.
- [9] Suler D.J. y Finstein S. (1977). Effect of temperature, aeration, and moisture on CO₂ formation in Bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *Applied and Environmental Microbiology*, 33(2). 345-350. En línea < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC170689/>> Recuperado 15/03/2016.
- [10] Arduino [2016a] Arduino Uno. En línea<<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>> Recuperado el 15/01/2016
- [11] Arduino (2016b) Arduino Web Server. En línea <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShield>> Recuperado el 15/01/2016
- [12] AppServ (2016) AppServ : Apache + PHP + MySQL Simple package for programming. En línea <<https://www.appservnetwork.com/en/>> Recuperado el 15/01/2016

Arranque de dos digestores anaeróbicos CSTR a escala laboratorio

¹Mydory Oyuky Nakasima López, ¹Quetzalli Aguilar Virgen, ¹Paul Adolfo Taboada González, ²Nicolás Velázquez Limón, ²Sara Ojeda Benítez

¹Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universitaria S/N Delegación Mesa de Otay, C.P. 22390, Tijuana, B.C., Mexico, nakasima.mydory@uabc.edu.mx.

² Universidad Autónoma de Baja California, Calle de la Normal S/N y Blvd. Benito Juárez, Col. Insurgentes Este Mexicali B. C
^{1,2} Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a los Residuos Sólidos, A. C (SOMERS)

Resumen

El uso de la tecnología anaeróbica consta de dos etapas fundamentales: el *arranque* y *operación* del sistema. De estas etapas, el arranque del sistema presenta ciertas desventajas, ya que es un proceso lento y depende de una variedad de factores. Para acelerar el tiempo de arranque de un digestor anaeróbico, se recurre a la inoculación. En este estudio se analizó la reacción presentada en dos digestores anaeróbicos de mezcla completa (CSTR), así como la adaptación de dos inóculos (lodos anaeróbicos estabilizados) provenientes de la industria láctea y cervecera bajo las mismas condiciones de operación. Se llevó a cabo la caracterización del residuo e inóculo y se alimentó el digestor a una misma concentración y composición del residuo orgánico. Se monitorearon los digestores bajo las mismas condiciones de operación y se analizó la reacción de degradación durante 150 días. Se obtuvo un mayor rendimiento de biogás y concentración de metano (cerca del 50%) en el inóculo 2 indicando que la adaptación del inóculo al residuo orgánico fue más rápida y estable. El inóculo 2 proveniente de la industria cervecera, es más resistente a las variaciones en el sustrato de alimentación y presentó mayor estabilidad en el proceso de degradación debido a la cantidad de microorganismos anaeróbicos.

Palabras Clave: *Biogás, CSTR, digestión anaeróbica, residuos sólidos orgánicos*

1. Introducción

Debido al rápido crecimiento de la población, sobre todo en los países desarrollados, se ha incrementado el consumo de satisfactores y con ello la generación de residuos. La descomposición de los residuos sólidos orgánicos (restos de comida y poda de jardín, principalmente) en los rellenos sanitarios, provocan graves problemas de contaminación ambiental y constituyen un recurso desaprovechado, debido a que contienen una alta fracción orgánica que puede ser empleada como fuente de energía.

Existen tratamientos biológicos que pueden ser empleados para obtener energía de los residuos orgánicos. La degradación de residuos orgánicos por *digestión anaeróbica*, usualmente es considerada el proceso más rentable debido a la alta recuperación de energía en forma de biogás, valiosos residuos digeridos en forma de bioabono líquido y sólido, pero sobre todo por su limitado impacto ambiental [1].

El uso de la tecnología anaeróbica consta de dos etapas fundamentales: el *arranque* y *operación* del sistema. El *arranque* de un digestor anaeróbico, es el periodo durante el cual la biomasa anaeróbica se adapta en cantidad y calidad a las características del agua residual. Sin embargo, el arranque del sistema presenta ciertas desventajas, ya que es un proceso lento y depende de una variedad de factores, tales como la temperatura, la velocidad de carga orgánica (VCO), el tiempo de retención hidráulico (TRH), el diseño del digestor junto con la mezcla (sustrato), el tiempo que se requiera para obtener una calidad constante del efluente y una producción constante de biogás rico en metano durante el proceso de degradación [2,3].

Para acelerar el tiempo de arranque de un digestor anaeróbico, se recurre a la inoculación. Antes de alimentar con el sustrato a degradar, se agregan bacterias anaeróbicas (lodo anaeróbico) al digestor provenientes de un sistema de digestión estabilizado y se espera un tiempo de adaptación bajo ciertas condiciones de operación. Lo anterior requiere un alto grado de experiencia y conocimiento, sobre todo cuando no se cuenta con inóculos adecuados o adaptados.

Por lo expuesto, el objetivo de este estudio fue monitorear la reacción presentada en dos digestores anaeróbicos de mezcla completa (CSTR), así como la adaptación de dos inóculos (lodos anaeróbicos estabilizados) provenientes de la industria láctea y cervecera bajo las mismas condiciones de operación.

2. Metodología

2.1 Sistema de digestión

Se emplearon dos digestores anaeróbicos a escala laboratorio para cada uno de los lodos anaeróbicos utilizados en este trabajo, con una capacidad de 7 litros y con un volumen de trabajo de 5 litros cada uno, para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos del sector residencial compuestos por residuos de comida (ver Figura 1). Los digestores están hechos de vidrio pyrex resistente y de alta calidad, tienen una altura total de 60 cm y un diámetro de 37 cm, entrada del sustrato, salida del efluente tratado y salida del biogás por la parte superior. Cuentan con sistema de agitación que se mantuvo de 8 a 10 Hz, sistema de control de temperatura, sensor de pH y oxígeno disuelto. La temperatura se mantuvo en condiciones mesofílicas (35 °C), no se controló el pH, se llevó a cabo una alimentación semi-continua y se definió un TRH de 15 días. La medición de la producción de biogás se llevó a cabo con un sistema por desplazamiento de agua y la medición de concentración se realizó con la ayuda de un analizador de biogás portátil que funciona por rayos infrarrojos (Gasboard 3200-L).

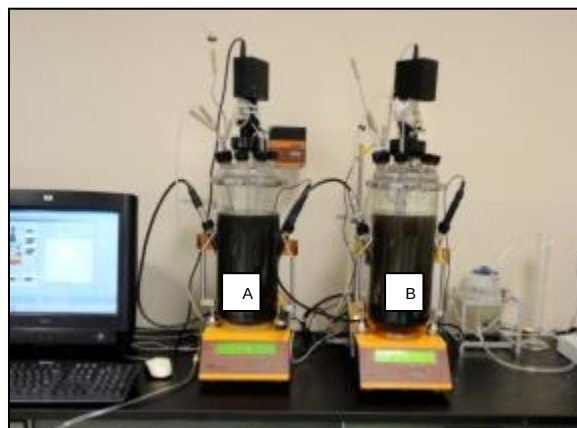


Figura. 1. Digestores anaeróbicos CSTR a escala laboratorio.

A: Inóculo1 (industria láctea), B: Inóculo 2 (industria cervecera).

2.2 Inóculo

Se utilizaron dos tipos de inóculos extraídos de dos digestores anaeróbicos, provenientes de la industria láctea (inóculo 1) y cervecera (inóculo 2) en condiciones mesofílicas (35 °C) respectivamente ubicadas en Tecate, Baja California, México. Antes de introducir los lodos anaeróbicos al digestor, se caracterizaron, realizando análisis físico-químicos tales como pH, sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), sólidos totales fijos (STF), demanda química de oxígeno (DQO) y relación carbono/nitrógeno (C/N). Los resultados de la caracterización y los métodos analíticos para caracterizar se dan en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis físico-químicos de los lodos anaeróbicos (inóculos)

Caracterización			
Parámetro	Inóculo 1 (industria láctica)	Inóculo 2 (industria cervecera)	Método de Análisis
pH	7.06	8.62	[4]
% Sólidos Volátiles	48.37	52.03	[5]
Sólidos Totales (mg/L)	2005	3825	[6]
Sólidos Totales Volátiles (mg/L)	1035	1990	[6]
Sólidos Totales Fijos (mg/L)	970	1835	[6]
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	31755	41580	[7, 8]
Relación C/N	8.10	10.09	[9-12]

2.3. Sustrato de alimentación

En México existe muy poca información acerca del tratamiento anaeróbico de residuos sólidos orgánicos del sector residencial, debido a la variación en cuanto a cantidad y composición del mismo, lo que trae consigo una variación en la producción de biogás. Sin embargo, considerando que estos residuos representan una problemática ambiental, ya que más del 50% se encuentran confinados en los rellenos sanitarios, se considera que tienen un gran potencial energético los cuales pueden ser aprovechados y a la par, se reduce la contaminación de suelo, agua y aire. En este trabajo de investigación se trabajó con residuos de comida, considerado como el sustrato de alimentación el cual será tratado para la producción de biogás. El procedimiento consistió primeramente en seleccionar los residuos sólidos orgánicos (desperdicios de comida) que se originaban en una casa, de una familia promedio de 4 personas [13]. La recolección se basó en lo que se generaba en una semana, durante 3 semanas consecutivas, con la finalidad de obtener resultados basados en la variación en cuanto a la cantidad y composición de los residuos generados de una semana a otra, y sobre todo, comprobar experimentalmente de qué manera afectaba en el proceso de degradación el añadir el alimento (sustrato) al digestor, variando las características del residuo.

3. Resultados y Discusión

En total, se recolectaron 25.4 kg de residuos sólidos orgánicos, compuestos en su mayoría por desperdicios de frutas y vegetales, en menor proporción se recolectaron cueros, carne, huesos, arroz, pan, tortilla, comida pre-cocida, entre otros. Debido a que los residuos de comida son de gran tamaño, para facilitar su caracterización fue necesario realizar un pre-tratamiento mecánico (trituration con ayuda de un molino), con el cual era más sencillo hacer la toma de muestras y realizar los análisis correspondientes. Una vez llevado a cabo el pre-tratamiento (mecánico) al residuo, se procedió a obtener los análisis físico-químicos, mismo procedimiento que se realizó con el inóculo. Esto ayuda a definir las concentraciones y proporciones adecuadas para preparar el sustrato. Los resultados de la caracterización y los métodos analíticos utilizados se dan en la Tabla 2.

3.1 Arranque de los digestores anaeróbicos CSTR

El arranque del digestor anaeróbico, constituye una etapa de trabajo preliminar, el cual consiste en adaptar al sistema los microorganismos que contiene el lodo anaeróbico estabilizado (inóculo), a una temperatura constante de $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ (condición mesofílica y estrictamente anaeróbica). Es primordial conocer el estado inicial (características) en las que se encuentran los inóculos antes de añadirle el sustrato de alimentación. Como se puede observar en la Tabla 1, el pH del inóculo 2 es alto (alcalino), esto da ventaja cuando se cuenta con un residuo muy ácido, ya que ayudará a estabilizarlos al mezclar el inóculo con el residuo y

evitar así la acidificación del proceso de digestión, el cual podría inhibir la producción de biogás así como la correcta degradación de la materia orgánica. Lo menos favorecido fue la cantidad de microorganismos que contienen ambos inóculos, ya que se ve reflejado en una relación C/N pobre, pero una vez que se alimenten con el residuo a tratar, se espera que se reproduzcan y aumenten la cantidad de bacterias presentes.

Tabla 2. Análisis físico-químicos del residuo sólido orgánico (desperdicios de comida)

Caracterización		
Parámetro	Residuos de comida	Método de Análisis
pH	4.1	[4]
Densidad (g/L)	1077.4	[14]
% Humedad	81.64	[15]
% Cenizas	5.65	[5]
% Sólidos Volátiles	94.35	[5]
Sólidos Totales (mg/L)	189924	[6]
Sólidos Totales Volátiles (mg/L)	179198	[6]
Sólidos Totales Fijos (mg/L)	10726	[6]
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	330540	[7, 8]
Relación C/N	20.56	[9-12]

La operación de los digestores CSTR, se llevaron a cabo en una sola etapa y con alimentación semi-continua, es decir, el mismo volumen de sustrato con el que se alimentaba era el mismo volumen que se extraía diariamente. Se inoculó con 5 litros de lodo anaeróbico. La adaptación de los microorganismos anaeróbicos, consiste en observarlos por un determinado tiempo, aproximadamente 10 días, no se alimentan durante ese periodo, únicamente se mezcla el inóculo homogéneamente tres veces al día (la agitación debe ser suave). Se mide la temperatura y el pH para determinar la adecuación de los microorganismos al sistema. En la Tabla 3, se muestran los resultados del monitoreo del pH y temperatura del inóculo.

El monitoreo del inóculo para verificar el comportamiento del pH se muestra en la Figura 2. Se observa que a una temperatura de $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$, va en disminuyendo el pH de forma considerable para el inóculo 1, en el cual se estabiliza a partir del noveno día, caso contrario con el inóculo 2, ya que a partir del séptimo día se ve una estabilización del pH, esto demuestra que los microorganismos ya se encuentran adaptados al sistema, es decir, que bajo las condiciones de temperatura $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ y en condiciones anaeróbicas, las bacterias se encuentran listas para ser alimentadas.

Tabla 3. Monitoreo de los lodos anaeróbicos (inóculos)

Monitoreo					
Día	pH (inóculo 1)	pH (inóculo 2)	Día	pH (inóculo 1)	pH (inóculo 2)
1	7.06	8.62	6	6.53	8.55
2	7.00	8.64	7	6.50	8.51
3	6.58	8.61	8	6.49	8.51
4	6.58	8.60	9	6.48	8.50
5	6.54	8.58	10	6.48	8.51

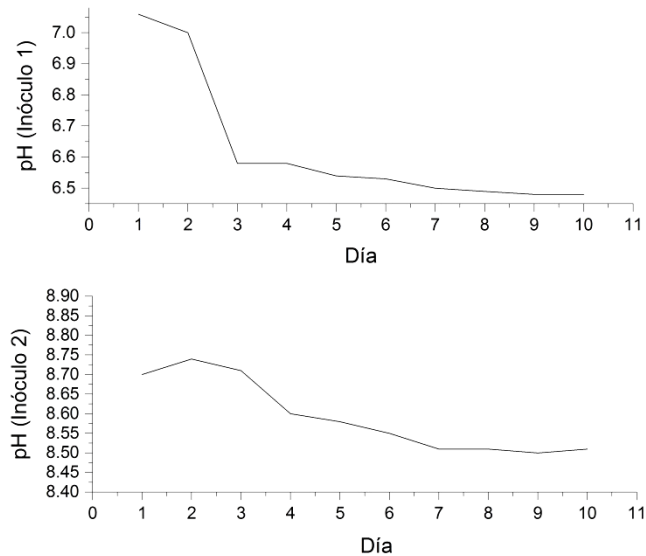


Figura. 2. Comportamiento del pH de los inóculos a través del tiempo.

Una vez que los resultados del monitoreo indicaban que los microorganismos en cada uno de los inóculos se habían adaptado a las condiciones de operación del sistema de digestión, se procedió con la alimentación del sustrato. Para realizar la preparación del sustrato, se definió una concentración en base a los SV que marca la bibliografía, el cual recomienda que los rangos de concentración del sustrato debe andar en un rango del 2 al 12% de SV [16]. Se recomienda iniciar con una concentración baja (baja carga orgánica), con la finalidad de que los microorganismos se vayan adaptando lentamente al sustrato. Una cantidad mayor a la del rango sugerido ya no es recomendable, ya que se puede sobrealimentar el digestor, como consecuencia se tendría una caída de pH y paro de la reacción, viéndose reflejado en una producción de biogás mínima o nula.

Para este trabajo de investigación, se estuvo alimentando con 3 concentraciones diferentes, incrementando 1% la concentración del sustrato cada 50 días. Se inició con una concentración de SV promedio (7%), seguida del 8 y 9% de concentración de SV en el sustrato, llevándose a cabo las mismas condiciones de operación para cada inóculo.

La principal razón por la que la alimentación a los inóculos se llevó a cabo con una carga promedio del 7% de SV en el sustrato, se debe a que los inóculos con el que se realizaron las pruebas no era el adecuado, ya que esos inóculos contiene microorganismos que degradan aguas residuales de la industria láctica y cervecera respectivamente, es decir, aunque se sigue utilizando un agua residual con un alto contenido en materia orgánica, tiene características muy diferentes en comparación a los residuos sólidos orgánicos (desperdicios de comida) utilizados en este proyecto de investigación. El objetivo fue ir adaptando poco a poco los microorganismos al nuevo residuo a degradar.

En la Figura 3, se observa que para el inóculo 1 la producción de biogás fue muy baja para los primeros 50 días, alcanzando 86 ml de biogás, esto es normal ya que los microorganismos se van adaptando ligeramente al alimento, no olvidando que el proceso de digestión anaeróbica inicia con la fase acidogénica en el cual los microorganismos acidogénicos se encargan de degradar la materia orgánica del sustrato alimentado. Sin embargo, fue aumentando gradualmente conforme se aumentaba la concentración del sustrato de alimentación y el tiempo de degradación. El inóculo 1 alcanzó en el día 150 una producción de biogás de 138 ml con una concentración de metano pobre (25.2%) la cual no era suficiente para hacer la combustión.

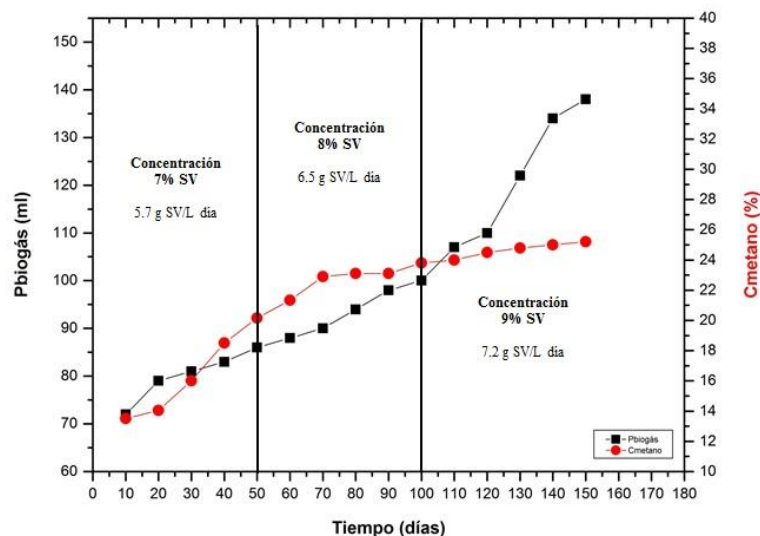


Figura. 3. Producción de biogás y concentración de metano en el inóculo 1 (industria láctica).

Caso contrario se presentó con el inóculo 2, ya que alcanzó una mayor producción de biogás (188 ml) y una mayor concentración de metano (48.3%), aumentando casi el doble en comparación con el inóculo 1. Los resultados del inóculo 2 bajo las mismas condiciones de operación que el inóculo 1, se observan en la Figura 4, el cual presenta una producción de biogás y concentración de metano más estable a través del tiempo y con el incremento de la concentración en el sustrato de alimentación.

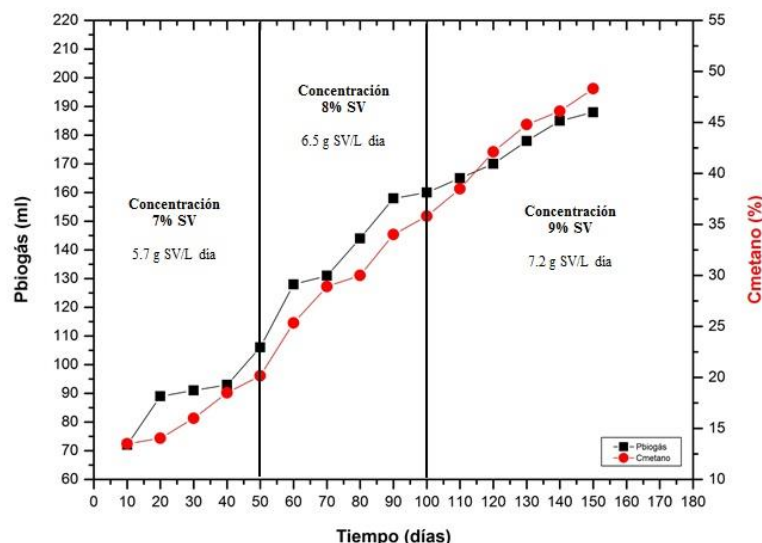


Figura. 4. Producción de biogás y concentración de metano en el inóculo 2 (industria cervecera).

4. Conclusiones

A partir del experimento llevado a cabo durante 150 días se tienen las siguientes observaciones:

1. El inóculo 1 presentó los resultados menos favorables, reflejándose en una producción de biogás y concentración de metano baja, aún con el incremento en la concentración del sustrato de alimentación. Esto era de esperarse, ya que el inóculo 1 contaba con un pH alrededor del nivel ácido y una relación C/N pobre. Al alimentar con el sustrato, considerando que el residuo a degradar era completamente ácido, no se logró neutralizar el pH a través del tiempo, eso provoca la inhibición parcial o total de la reacción.

2. El inóculo 2 presentó las mejores características físico-químicas. Tenía un pH alcalino que ayudaba a compensar lo ácido del sustrato de alimentación durante todo el proceso de digestión, la relación C/N aunque era un poco baja, al verse reflejado en una mayor producción de biogás y concentración de metano a través del tiempo y con el aumento de la concentración del sustrato, indicaba que la población de microorganismos anaeróbicos iba en aumento, favoreciendo al proceso de digestión. Se pudo observar que este inóculo fue más estable en la degradación de residuo y en el rendimiento de biogás obtenido.

3. A pesar de que aún no se alcanzó la mínima cantidad (60%) en concentración de metano como marca la literatura, el hecho de que la producción de biogás y la concentración de metano iban en incremento, indicaba que los microorganismos iban adaptándose gradualmente al residuo orgánico, por lo cual, se trabajará con una mayor carga orgánica para encontrar el punto máximo de alimentación y por consiguiente de degradación del residuo, analizando el rendimiento de biogás y concentración de metano.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se concluye que el inóculo 2 proveniente de la industria cervecera, es más resistente a las variaciones en el sustrato de alimentación (residuos de comida) y presentó mayor estabilidad en el proceso de degradación.

5. Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo económico otorgado a través de la Integración de Redes Temáticas de colaboración académica de PRODEP 2015.

Referencias

- [1] Cho, K., Lee, J., Kim, W., Hwang, S. (2013). Behavior of methanogens during start-up of farm-scale anaerobic digester treating swine wastewater. *Process Biochemistry*. 48, 1441–1445.
- [2] Pandey, P.K., Ndegwa, P.M., Alldredge, J.R., Pitts, M., Soupir, M.L. (2010). Modeling effects of granules on the start-up of anaerobic digestion of dairy wastewater with Langmuir and extended Freundlich equations. *Bioprocess Biosystems Engineering*. 33, 833–45.
- [3] Ghanimeh, S., El Fadel, M., Saikaly, P. (2012). Mixing effect on thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of municipal solid waste. *Bioresource Technology*. 117, 63–71.
- [4] Diario Oficial de la Federación (DOF), (1992). NMX-AA-25-1984, Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos-Determinación del pH-método potenciométrico.
- [5] Montes, M., (2008). Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora. *Tesis doctoral*. Departamento de Ingeniería Civil: Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente E.T.S. I. de Caminos, Canales y Puertos.
- [6] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI), (2001). NMX-AA-034-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.
- [7] US Environmental Protection Agency (USEPA), (1980). Method 8000, Oxygen Demand Chemical, for water, wastewater and seawater. 45(78), 26811-26812.
- [8] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI), (2001). NMX-AA-030-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.
- [9] Hach Method 10072. Nitrogen Total, High Range (10.0 to 150.0 mg/L N). TNT Persulfate Digestion Method, for water and wastewater.
- [10] Hach Method 10128. Organic Carbon Total, High Range (20–700 mg/L C), for wastewater and industrial waters.
- [11] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI), (2010). NMX-AA-089/2-SCFI-2010, Protección al ambiente - Calidad del agua.

- [12] Diario Oficial de la Federación (DOF), (1992). NMX-AA-024-1984, Protección al ambiente - Contaminación del suelo – Residuos sólidos municipales - Determinación de nitrógeno total.
- [13] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2015). “Estadísticas a propósito del día nacional de la familia mexicana (1 de marzo)”, Datos nacionales. 1-6.
- [14] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), (2000). NOM-021-RECNAT-2000, Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- [15] Diario Oficial de la Federación (DOF), (1992). NMX-AA-16-1984, Protección al ambiente - Contaminación del suelo – Residuos sólidos municipales - Determinación de humedad.
- [16] Curry, N., Pillay, P., (2012). Biogas prediction and design of a food waste to energy system for the urban environment. *Renewable Energy*.41, 200-209.

Determinar el índice de germinación en semillas de acelga (*Beta vulgaris* var *Cicla*), en diferentes tiempos y tratamientos de lombricomposta

¹Vidal David Romero González, ¹Susana Aguilar González, ²Jorge Lugo, ²Pedro del Aguila, ^{1*}Nancy Judith Serrano García.

¹ UPVT (Universidad Politécnica del Valle de Toluca), Km 5.6 carretera Almoloya de Juárez Santiago Tlalcalcalci, Almoloya de Juárez, Estado de México. Tel. 01 722 2766060. *njsg77@gmail.com.

²UAEMEX. (Universidad Autónoma del Estado de México), Fac. de Ciencias. Lab de Edafología y Ambiente. Instituto Literario 100. Toluca 50 000. México.

Resumen

Actualmente nuestra sociedad genera una gran cantidad de residuos, los cuales son un factor determinante en la contaminación del ambiente; dentro de los residuos sólidos urbanos (RSU) que se generan en las grandes ciudades la mayoría son de origen orgánico. Los residuos orgánicos (RO) tienen diversas procedencias como son; hogar, ganadería, pesca, agricultura, comercio, entre otros. En el Estado de México se generan aproximadamente 3, 843,430 por día a los cuales no se les da el tratamiento adecuado [1]. Es por ello que en el Estado de México se requieren alternativas de tratamiento y separación de dichos RO, una manera de aprovechar los RO es a través de la lombricomposta, material producido con alto contenidos de nutrientes, utilizado comúnmente como mejorador de suelos o como sustituto de abonos y fertilizantes [2]. Con esto se reducirá la cantidad de residuos orgánicos y se obtendrá un producto benéfico para el ecosistema. Para producir la lombricomposta (L), se utilizan lombrices quienes degradan la materia orgánica, para elaborar humus el cual contiene nutrientes que ayudan a mejorar la calidad del suelo. Para la elaboración del humus se usa regularmente a la lombriz roja californiana (*Eisenia fétida*) por su gran capacidad para digerir residuos orgánicos en condiciones de cautiverio [2]. Es importante medir algunos parámetros para saber cuándo es más adecuado adicionar la lombricomposta al suelo y que impacte a las plantas, entre ellos es el índice de germinación, ya que nos indica la efectividad de la lombricomposta con respecto a su madurez [3 y 4]. Es importante medir el pH y la materia orgánica (MO) porque están relacionados con el índice de germinación. En este trabajo se determinó el índice de germinación en semillas de acelga utilizando diferentes residuos orgánicos y tomando muestras en diferentes tiempos para ver cuando es más efectiva la lombricomposta.



Figura 1. Se muestran las distintas lombricomposta de caballo (LC), residuo de vaca (LV) y lombricomposta de vegetal (LVE).

Para la elaboración de la lombricomposta (L) se utilizaron tres tipos de RO, lombricomposta de caballo (LC), lombricomposta de vaca (LV), lombricomposta de vegetal (LVE), manteniendo una relación 2:1 de RO (13 kg) y de suelo (6.5 kg) respectivamente; estos se mezclaron y colocaron en cajas de plástico las cuales se muestran en la Figura 1. Después se adicionaron 70 lombrices *Eisenia fétida* a cada uno de los tratamientos, se mantuvo a humedad constante del 70% bajo condiciones de invernadero (dentro de las instalaciones de la UPVT); se mezclaron cada cinco días para mantener aireación y una composición homogénea.

En cuanto a la toma de muestra esta se realizó a los tiempo (T) 0, 10, 20, 30, y 40 días en cada uno de los tratamientos. Una vez obtenidas las muestras se secaron a la sombra, se molieron y tamizaron (malla de 2 mm), se determinó el pH en agua en una relación 1:5 y la materia orgánica por el método de cenizas [5]. Para medir el índice de germinación se determinó según el método de Zucconi *et al.* (1981) citado en [3, 4 y 6], se pesaron 10 gramos de suelo se les adiciono 50 ml de agua destilada, se agitaron por 20 min en un agitador mecánico, se centrifugaron a 3000 rpm. Se colocaron 10 ml de cada extracto en cajas Petri, que contenían 10 semillas de acelga sobre papel filtro; estas se compararon con un testigo con agua destilada. Se mantuvieron en una incubadora durante 4 días a 25°C en la figura 2 se muestra el procedimiento y las semillas germinadas.

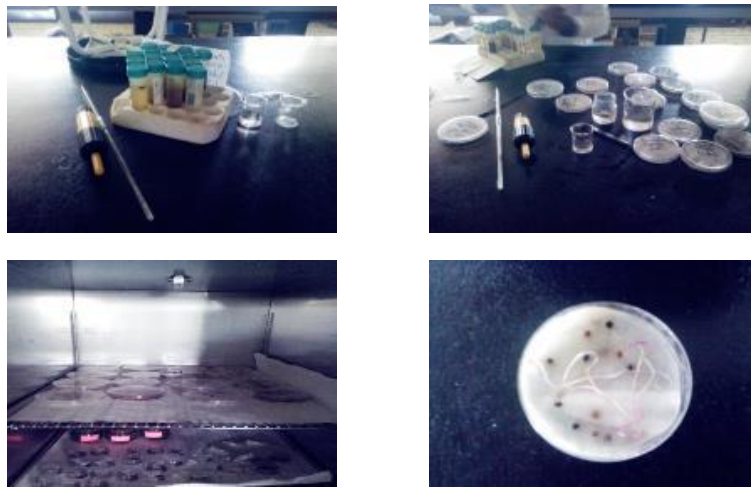


Figura 2. Se observa cómo se realizó el índice de germinación y se puede ver el crecimiento de las semillas de acelga.

Los resultados para pH se muestran en la tabla 1, se observa que el pH es moderadamente alcalino para las lombricompostas hechas con estiércol de vaca y residuo vegetal. Para la lombricomposta de caballo están se clasifican como fuertemente alcalinas [7].

En cuanto al porcentaje de cenizas presentaron contenidos altos al inicio del proceso y fue disminuyendo con el tiempo como se observa en la tabla 1 esto se observa para LC mientras que para LV y LVE, se presentó un comportamiento más homogéneo entre todos los días.

Para el índice de germinación la LVE presentó valores más bajos que la LC mientras que el LV presentó un comportamiento más homogéneo con respecto al tiempo comparado con los otros tratamientos.

Estos resultados demostraron que las lombricompostas aún no se encuentran maduras lo que también es refutado con los resultados de pH y materia orgánica. Autores como Selim *et al.*, 2012, y Varnero *et al.*, 2007, establecen el siguiente criterio de interpretación: valores de $IG \geq 80\%$ indican que no hay sustancias fitotóxicas o están en muy bajas concentración; si el $IG \leq 50\%$ indicaría que hay una fuerte presencia de sustancias fitotóxicas y si se obtiene un valor entre 50% y 80% se interpreta como moderada de estas sustancias.

Se puede concluir que la composta aún no se encuentra madura ya que los valores de pH son de índice de germinación están por debajo del 50% en su mayoría por lo tanto existen elementos tóxicos que no permiten el crecimiento adecuado de las semillas de acelga.

Tabla 1. Resultados de los análisis realizados en los diferentes tratamientos.

Tratamiento	pH	MO (%)	Germinación (%)
LV0	7.77	77	50
LV10	8.24	79	38
LV20	7.84	65	7
LV30	8.20	77	38
LV40	8.20	77	37
LVE0	7.95	89	14
LVE10	8.16	85	0
LVE20	8.34	88	23
LVE30	7.18	88	23
LVE40	8.33	88	2
LC0	6.85	89	21
LC10	9.65	73	0
LC20	9.54	68	57
LC30	9.58	77	17
LC40	9.54	72	35

LV0= Lombricomposta de residuo de vaca a los 0 días. LV10= Lombricomposta de residuo de vaca a los 10 días. LV20= Lombricomposta de residuo de vaca a los 20 días. LV30= Lombricomposta de residuo de vaca a los 30 días. LV40= Lombricomposta de residuo de vaca a los 40 días. LVE0= Lombricomposta de residuo de vegetal a los 0 días. LVE10= Lombricomposta de residuo de vegetal a los 10 días. LVE20= Lombricomposta de residuo de vegetal a los 20 días. LVE30= Lombricomposta de residuo de vegetal a los 30 días. LVE40= Lombricomposta de residuo de vegetal a los 40 días. LC0= Lombricomposta de residuo de caballo a los 0 días. LC10= Lombricomposta de residuo de caballo a los 10 días. LC20= Lombricomposta de residuo de caballo a los 20 días. LC30= Lombricomposta de residuo de caballo a los 30 días. LC40= Lombricomposta de residuo de caballo a los 40 días.

Referencias

- [1] INEGI. 2013. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales del 2012.
- [2] Lino, M. A. (2014). Manual de lombricomposta fundamentos y principios para su manejo. San cayetano, San luis de la Paz, Guanajuato. México. Valle de Maria A. C. pag. 35.
- [3] Tiquia, S. M. (1999). *Evaluating Phytotoxicity of Pig Manure from the Pig-on-Litter System*. USA. Pag. 647.
- [4] Selim, Sh. M., Zayed, M. S., y Atta, H. M. (2012). Evaluation of phytotoxicity of compost during composting process. *Nature and Science*; 10 (2):69-77. (ISSN: 1545-0740).
- [5] Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta)- especificaciones y metodos de prueba. Diario oficial de la federación. Semarnat, 2008.
- [6] Varnero, M. M. T., Rojas, A. C. y Orellana, R. R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Journal Soil Scince Nutrition*. 7 (1) (28-37).
- [7] Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario oficial de la federación. Semarnat, 2001.

Diseño de tecnología dirigida al reciclaje de residuos sólidos urbanos

¹Denis Díaz Velásquez, ²Alma Delia Carmona Juárez, ³Sayra Guadalupe Córdoba López.
REINTECH Recycled, Innovation and Technology S.A. de C.V., México # 34, Col. Pumar, Xalapa, Veracruz, México. Tels.
+052 (228) 2001512, ddiaz@reintech.com.mx.

Resumen

La generación y manejo de los residuos sólidos urbanos son un problema que afecta a la población, especialmente a las grandes ciudades. Es por ello que se han diseñado normas y leyes ambientales así como sistemas de gestión que incluyen procesos eficientes para su separación; sin embargo, existe la urgente necesidad de asegurar un proceso limpio y seguro especialmente para las personas que están en contacto directo con el mismo. A partir de esta problemática, la empresa REINTECH se dio a la tarea de diseñar una célula de trabajo para la separación de residuos sólidos urbanos inorgánicos, automatizada y con innovaciones tecnológicas que disminuyen el riesgo sanitario para el operario además de ser adaptable a las necesidades del usuario, permitiendo optimizar todo el proceso. En este artículo se describirán 2 módulos de la línea de Reciclaje de RSU, los cuales son, un Rompebolsas y una Cámara de Sensado, cuyas funciones principales son la liberación de la basura contenida en bolsas y la identificación y clasificación de la misma, respectivamente. Dichas máquinas han sido diseñadas y construidas a nivel prototipo experimental y actualmente se encuentran en una etapa de evaluación.

Palabras Clave: *Cámara de Sensado, Reciclaje, Residuos Sólidos Urbanos, Rompebolsas, Tecnología.*

1. Introducción

REINTECH, RECYCLED INNOVATION AND TECHNOLOGY, S.A. de C.V. es una empresa establecida en la ciudad de Xalapa, Veracruz, y conformada por un grupo de profesionales de Tecnologías de la información, Electrónica, Industrial y Electromecánica, que realiza actividades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+I) con impactos directos en productos y servicios para la sociedad.

Como estrategia REINTECH tiene como fin desarrollar, investigar, diseñar y construir tecnologías verdes, donde, entre otras cosas, mantiene un interés sobre las siguientes líneas de investigación:

1. *Gestión de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos urbanos*, donde su principal objetivo es: Investigación y desarrollo experimental para remediación de residuos, con el fin de aumentar la suma de conocimientos que permitan concebir nuevas aplicaciones en la implementación de una innovación tecnológica en el Modelo de Procesos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos al cual ha denominado “Modelo 7R”.
2. *Sistema y Maquinaria Industrial*: Sistemas de Conversión de residuos, reducción de consumo energético, así como aplicación de energías alternativas y desarrollo de sistemas de aprovechamiento. Desarrollo de modelos Industriales de trabajo, resaltando las Células de trabajo, así como la maquinaria para la separación y clasificación de residuos inorgánicos. Desarrollo de técnicas y procedimientos para la manufactura asistida por computadora. Diseños basados en Biomimesis. Mejora de procesos basados en la implementación de la Filosofía Cradle to Cradle. Diseño Industrial Sustentable.

En 2013 se desarrolló la primer etapa del proyecto denominada: “Célula de trabajo para el reconocimiento y clasificación autónoma de residuos sólidos urbanos inorgánicos (RSU), 2013 V1.0 con diseño biomimético”, cuyo objetivo principal fue investigar, diseñar y simular un Prototipo de manufactura celular automatizado, dedicado a la clasificación de plásticos, vidrios y metales encontrados en los Residuos Sólidos Urbanos Inorgánicos (RSU), donde se generó vinculación con el Instituto Universitario Veracruzano (IUV) así como con el “Centro de investigación de micro y nano tecnología (MICRONA)”

Para el 2014 se realizó la continuación del proyecto denominado: “Diseño y construcción de prototipo funcional de célula de trabajo para la clasificación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) V2.0” cuyo objetivo fue realizar el diagnóstico, propuesta de mejora y construcción de prototipo funcional de la célula de trabajo automatizada, dedicada a la clasificación de plástico, vidrios, metales y papel encontrados en los Residuos Sólidos Inorgánicos (RSU). Para el desarrollo del proyecto se conservó la vinculación con el Instituto Universitario Veracruzano (IUV) y con la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME).

En el año 2015 se llevó a cabo la realización de una tercera etapa denominada: “Diseño y construcción de una célula de trabajo dirigida al manejo de RSU. Tercera etapa” cuyo objetivo principal fue la construcción de 2 prototipos funcionales denominados “Rompebolsas” y “Cámara de sensado” a escala semi industrial, para el manejo de residuos sólidos urbanos, innovando en diseño, función y automatización. En esta etapa se conservó la vinculación con los Institutos Educativos IUV y FIME.

De acuerdo a investigaciones realizadas se encontró que “Veracruz genera cerca de 7000 toneladas de residuos sólidos anuales, por lo que “se ubica en tercer lugar nacional en este rubro”, de acuerdo con el titular de la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA). Además la Organización Profesionales por México señaló que los rellenos sanitarios son un foco de infección.” (Quezada, 2012) [1]

Tomando esos datos como referencia es importante recalcar que la separación de los componentes de residuos sólidos es una fase muy importante que favorece el reciclaje y la recuperación de material reutilizable, proporcionando así un mejor manejo en el relleno sanitario además de alargar la vida del mismo.

En los procesos de separación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) modernos, se utilizan sistemas automatizados para asegurar la integridad física de los trabajadores, quienes sólo se remiten a control y supervisión. Esta necesidad de hacer un proceso más limpio y seguro se hace presente al ver que, dentro de las bolsas de basura, un sinnúmero de objetos pueden dañar a un trabajador como por ejemplo: botellas de cristal rotas, latas de aluminio, metal oxidado, madera quebrada, o la exposición materiales de manejo especial como plomo, gases, etc. (Technology, 2015) [2]

Estos procesos de separación implican el trabajo y la integración de varios módulos, los cuales, trabajando en conjunto facilitan la separación de la basura desde que llegan dentro de sus respectivas bolsas hasta que es separada de acuerdo a la caracterización que se haya decidido con anterioridad; por lo cual, el primer módulo importante de todo el proceso es un Rompebolsas, cuya función principal, como su nombre lo dice, es romper las bolsas de basura para permitir que ésta se disperse y pueda seguir un proceso de separación eficiente. Con esto se pretende optimizar tiempos en cuanto al rompimiento de las bolsas y evitar al máximo, el contacto de los residuos con el operador, importante labor de la que se encarga nuestro dispositivo.

Así mismo, se observó la necesidad urgente de crear un dispositivo que permitiera sensar los residuos de tal manera, que este sistema pudiera identificar los materiales encontrados en la recolección de RSU, por lo que se diseñó una Cámara de Sensado a través de la cual se logra identificar 3 tipos de materiales contenidos en las bolsas ya abiertas por el módulo anterior. La configuración actual está dirigida a metales, plásticos y madera, con la finalidad de tener un control estricto de la cantidad de material que estamos separando, y facilitar el proceso de reciclaje y disposición final de los residuos.

Se eligió la separación primordial de estos residuos debido a que, en caracterizaciones echas anteriormente en el relleno sanitario de la región pudo observarse que son elementos que predominan por encima del resto, y además son de los materiales más revalorizables en un proceso de suprareciclaje.

No se descarta en un futuro, poder obtener un sistema de sensado para cualquier tipo de residuo, ya que actualmente el trabajo de investigación se concentró sólo en residuos inorgánicos.

sostenibles para los problemas humanos. Para el diseño de las cuchillas del Rompebolsas se eligieron unas garras de oso, debido a la fuerza que tienen para desgarrar y cortar.

De acuerdo a los problemas a resolver, el diseño del rompebolsas quedó de acuerdo a lo descrito a continuación: el Rompebolsas es el primer módulo del proceso, éste es alimentado por medio de una banda inclinada, en donde las bolsas caen y por efecto de la gravedad se deslizan por una plana, entrando en contacto con tres distintos tipos de cuchillas:

- El primero es un juego de cuchillas giratorias afiladas que pasan a través de la plana por medio de aberturas en la misma y que giran en dirección del flujo de basura. Estas cuchillas desgarran la bolsa con su filo y un efecto de tijera producido con la propia plana.
- El segundo es un juego de paletas movibles con cuchillas situadas en la parte superior del dispositivo. Utilizando un sistema similar al de la criba multicama, las paletas provocan un movimiento a favor del flujo de la basura y empujan a las bolsas hacia abajo, obligándolas a entrar en contacto con las cuchillas inferiores, y las cuchillas de la paletas penetran y desgarran las bolsas.
- El tercero es un juego de cuchillas fijas situadas entre las cuchillas giratorias y cuyo filo es contrario al flujo de la basura. Cuando las cuchillas giratorias y las paletas móviles impulsan la basura hacia abajo, las cuchillas fijas penetran y desgarran la bolsa.

Una vez que las bolsas son desgarradas, la basura se esparce por la plana y cae a la siguiente fase del proceso. En caso de que alguna bolsa o residuo quede atrapado en las cuchillas giratorias, el efecto de tijera producido entre las cuchillas giratorias y la plana se encargaría de cortar la bolsa o el residuo.

Los principales componentes del rompebolsas de REINTECH son los siguientes:

- Plano inclinado
- Cuchillas
- Sistema de inclinación
- Sistema de elevación de ejes de cuchillas
- Guarda de seguridad.
- Detección de atasque/Paro.
- Sistema de paletas con cuchillas oscilantes
- Sensores de corriente
- Etapa de potencia.

La innovación del rompebolsas es que el usuario es capaz de manipular la altura de la plana, así como la elevación de las cuchillas, esto, con la finalidad de que se adapte a sus necesidades y a la cantidad y tipo de basura que se vaya a ingresar al módulo.

Aunque originalmente el diseño del rompebolsas se pensó como parte importante de un proceso de separación de residuos, con las pruebas y simulaciones podemos decir que es un rompebolsas apto para cualquier necesidad. No sólo puede romper bolsas de basura, sino también es útil para romper sacos de material, alimento (para las granjas que ocupan una elevada cantidad del mismo), etc. En la figura 2 se muestra un diagrama explosionado con las partes de la máquina *rompebolsas*.

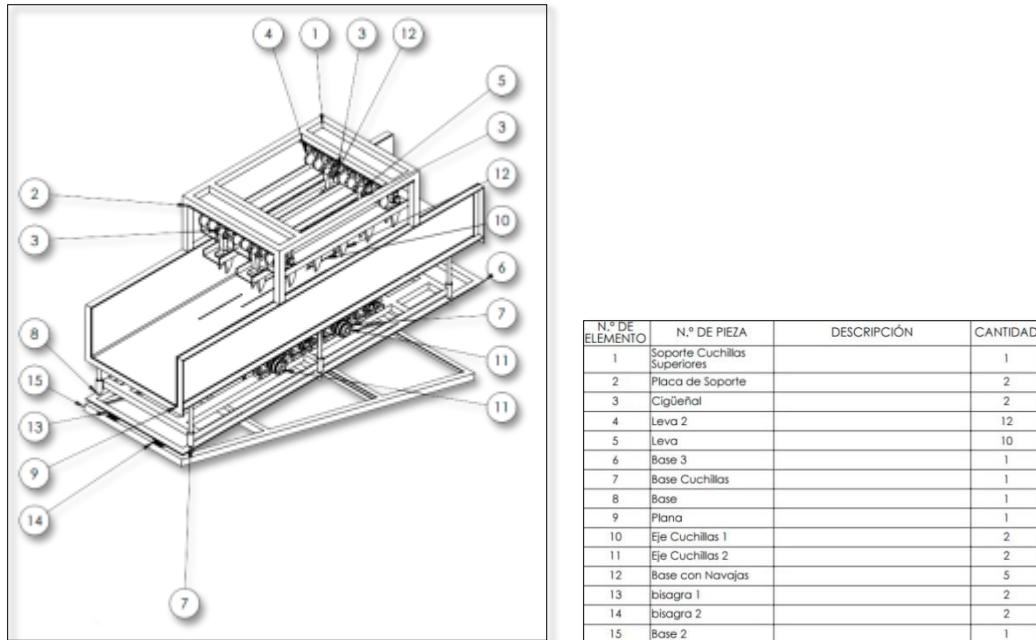


Figura. 14. Partes del módulo Rompebolsas.

2.3 Cámara de Sensado.

Es un sistema de sensado automático que permite identificar tres materiales que provienen de RSU: metales, madera y plásticos. Las partes principales de este sistema son: un dispositivo de control, una banda transportadora, una zona de ingreso de residuos, una zona de identificación de materiales y una interfaz de usuario.

El dispositivo de control está conformado por un controlador lógico programable PLC, que administra el funcionamiento y controla la correcta operación de la cámara de sensado y un microcontrolador que realiza el procesamiento de información. A este sistema se conectan los sensores y actuadores para controlar el proceso de adquisición de datos recopilados sensados y la automatización. Además, a este módulo se le añade la interfaz de usuario, donde se puede observar el desempeño del sistema, controlar las variables que intervienen en el proceso de sensado como distancia entre un residuo y otro, tamaños, distribución, ubicación sobre la banda transportadora, velocidad del motor y la banda transportadora, velocidad de desplazamiento de los brazos robóticos y tiempos de sensado de los arreglos de sensores capacitivos. Asimismo, permite generar estadísticas de la información recopilada y guardar perfiles predefinidos de operación de acuerdo a las necesidades de los usuarios. Dicha interfaz es adaptable a los diferentes dispositivos para visualización como pantallas de celular, Tablet o computadora.

La banda transportadora está constituida por una estructura soporte, una banda sinfín que puede variar entre 20 y 40 cm de ancho por 1 y 1.5 m de largo, y un motor de velocidad variable. Esta banda cuenta con un sistema mecánico acoplado al motor que permite tener más opciones de velocidad y torque para desplazar los diferentes residuos que ingresan al sistema.

Los brazos robóticos con los que cuenta son tipo delta y están colocados de manera lineal, formando una hilera a lo largo de la banda transportadora y su movimiento es realizado en dos ejes principalmente, a lo ancho de dicha banda y a un centímetro de altura sobre la superficie de los materiales detectados, siguiendo el patrón obtenido durante un mapeo de formas y tamaños. Cada brazo robótico cuenta con un arreglo de 4 sensores organizados en forma circular en la punta de prueba: 3 sensores son capacitivos y se colocan sobre el perímetro del círculo, y 1 sensor infrarrojo se coloca en el centro de dicho círculo. Para aumentar la

eficacia y precisión en la identificación de materiales, todos los brazos robóticos siguen el mismo patrón de desplazamiento y trayectoria generada en la zona de ingreso de materiales.

Esta cámara de sensado permite identificar una amplia variedad de formas, tamaños y cantidades de RSU, sin necesidad de darles un pretratamiento complejo, la información recopilada es de fácil procesamiento y brinda versatilidad en el campo de aplicación para identificación de materiales. Por ello, es importante identificar cuáles son los materiales que ingresan pero también su tamaño, forma y posición.

La innovación del sistema de sensado propuesto radica en la alineación y acomodo de los diversos sensores con el objetivo de contar con un sensado eficiente, además al ser un procedimiento sencillo, éste puede repetirse si es que se desea la identificación de materiales adicionales, sólo se debe cuidar la calibración de los sensores dependiendo el material a sensar. En la Figura 3 se muestra el rompebolsas junto a la cámara de sensado diseñados por REINTECH.



Figura. 15. Rompebolsas y Cámara de Sensado en conjunto.

3.0 Cálculos para los módulos Rompebolsas y Cámara de sensado

Los cálculos que a continuación se describen fueron tomados del documento llamado “Reporte de resultados y justificación de principios” [3]

3.1 Cálculo de Torque de motores AC (Selección de motor)

$$T = \frac{HP \times 716}{RPM} \quad (1)$$

Donde: T= Torque.

HP= Caballos de fuerza o potencia.

RPM= Velocidad angular.

Si utilizamos un motor SIMMENS a 1750 RPM, 1HP, tenemos:

$$T = \frac{1 \times 716}{1750} = .409142857 \text{ Kgm.} \quad (2)$$

Mientras que con un motor SIMMENS a 1750 RPPM, 1.5 HP:

$$T = \frac{1.5 \times 716}{1750} = .613 \text{ Kgm.} \quad (3)$$

Y al reducir la velocidad a 165 RPM, obtendremos:

$$T = \frac{1.5 \times 716}{165} = 6.5 \text{ Kgm.} \quad (4)$$

$$T = \frac{1 \times 716}{165} = 4.33 \text{ Kgm.} \quad (5)$$

Análisis en la punta de 1m tendremos una fuerza de 6.5 Kg., en el primer cm tendremos una fuerza de 650 Kg. ó 433 Kg.; y en los 10 cm habrán 65 Kg. o 43.3 Kg., por lo tanto para no sacrificar mucha fuerza se optará por el motor de 1 ½ HP.

3.2 Cálculo de Resistencia y transistores para motor DC 12V, 7A.

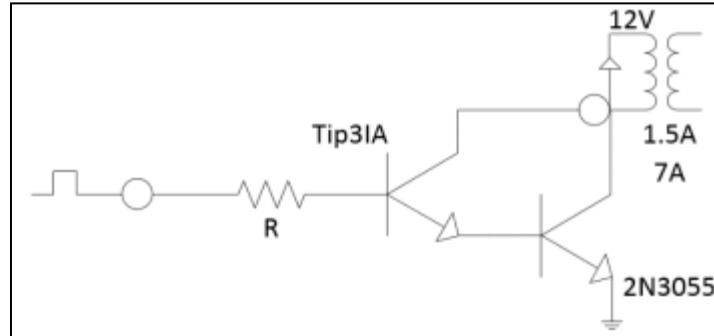


Figura. 16. Resistencia y transistores.

TiP31A; 2N3055; $R = 1K\Omega$

$$I_B = \frac{5}{1K} = 5mA \quad (6)$$

$$R = \frac{V-0.7}{\frac{I}{hFe}} \quad (7)$$

$$R = \frac{(V-0.7)hFe}{I} \quad (8)$$

El 2N3055 soporta hasta 15 A de los cuales sólo se necesitan 7A pico y 3A continuos.

$$I_B = \text{Tip31A} = 1A \therefore R_{min} = 5\Omega \quad (9)$$

$$I_{max \text{ pin Arduino } 40mA} \therefore R_B = \frac{V}{40mA} = 125\Omega \therefore \text{Resistencia mayor a } 125\Omega \quad (10)$$

3.3 Reducción de velocidad motor monofásico. 110V, 1½ HP.

Fórmula de variador:

$$RPM = \frac{120 \times F}{P} \quad (11)$$

Donde: F= frecuencia; P=Polos.

Fórmula de polos:

$$P = \frac{(120)(F)}{n} \text{ (Frecuencia de tensión)}$$

$$P = \frac{(120)(50)}{3000} n \text{ (revoluciones)} \quad (12)$$

$$P = 2 \text{ Polos}$$

$$RPM = \frac{120 \times 1}{2} = 60 \text{ RPM} \quad (13)$$

$$RPM = \frac{120 \times 50}{2} = 3000 \text{ RPM} \quad (14)$$

El variador puede ser una opción, al disminuir la frecuencia, la potencia disminuye pero el par se mantiene constante. Se recomienda implementar el variador para un motor trifásico.

A pesar de que la teoría y algunos vendedores confirmaban que el variador era muy buena opción, por recomendación de algunos expertos se decidió la reducción de bandas.

3.4 Cuchillas

Espacio de trabajo:

- Ancho: 22 cm.
- Largo: 70 cm.
- Altura: 15 cm.

Separación de cuchillas:

- *Eje de tres cuchillas:*

$$y = [22\text{cm} - (3 \times 0.2\text{cm})]/4 \quad (15)$$

$$y = 5.35\text{cm} \approx 5.4\text{cm}$$

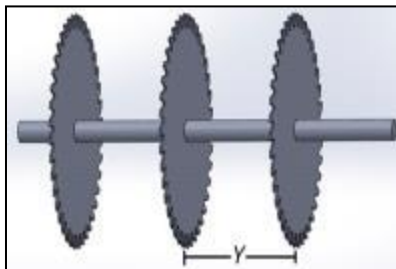


Figura. 17. Separación de cuchillas

En la figura 5 se muestra la separación de cuchillas que se calculó anteriormente.

- *Eje de dos cuchillas:*

$$x = [22\text{cm} - (2 \times 0.2\text{cm})]/3 \quad (16)$$

$$x = 7.02\text{cm} \approx 7\text{cm}$$

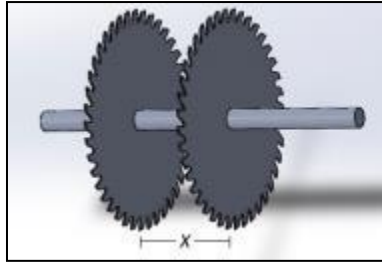


Figura. 18. Separación del eje de 2 cuchillas

La Figura 6 muestra la separación del eje de dos cuchillas. La colocación de las cuchillas con dicha separación, es para obtener un mejor desgarre, así como también un mejor flujo de los RSU, asimismo se podrá evitar que los materiales se atasquen.

3.5 Cálculo de Bandas

Se calcula con la siguiente formula:

$$L = 2C + 1.57(D + d)$$

Donde:

L = Longitud de paso de la banda

C = Distancia entre centros

D = Diámetro de la polea grande

d = Diámetro de la polea pequeña

Tipo de banda a usar: Banda en “V” tipo A

Separación entre centros (C): 150 mm

Diámetro de polea (D, d): 2 in (50.4 mm)

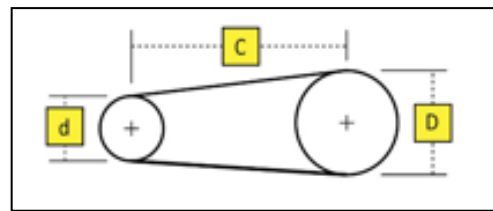


Figura. 19. Cálculo para Bandas

$$L = 2(150mm) + 1.57(50.4mm * 2) \quad (17)$$

$$L = 458.25mm \approx 458mm$$

En cuanto a las bandas y poleas se decidió colocarlos de esta manera para lograr un mejor acomodo de los ejes del prototipo. La figura 7 muestra un diagrama del cálculo de bandas.

Tipo de banda recomendada: A-18 marca Dayco

4. Abreviaciones y Acrónimos

RSU.- Residuos Sólidos Urbanos

5. Conclusiones

Los 2 módulos están diseñados de manera configurable, es decir, que se puede modificar el ángulo de inclinación de la plana del módulo Rompebolsas, con la finalidad de adaptarse a las necesidades que el cliente requiera.

No obstante, al haber desarrollado un diseño configurable del módulo *Rompebolsas*, permite que la máquina sea capaz de entrar en otro campo y no sólo dentro de los RSU, ya que es apta para romper otro tipo de materiales como son, sacos, bolsas, costales de cualquier tipo de contenido posible, entre otros.

Actualmente los prototipos se encuentran en una fase de revisión, simulaciones y pruebas, con el objetivo de mejorar el proceso y la eficiencia, y así obtener el modelo ideal de cada uno de los módulos.

Como se dijo en un principio el objetivo de estos módulos es asegurar un proceso de separación de residuos limpio y seguro para los trabajadores, además se puede elevar el aprovechamiento de los mismos. De esta manera se pretende llevar dicha tecnología a los municipios para poder disminuir de forma significativa el problema que existe actualmente en cuanto a la disposición final de los RSU, ya que al contar con un proceso de separación eficiente se contribuye a la revaloración de los residuos y su posterior aprovechamiento.

Los resultados que se esperan obtener a futuro son la obtención de 2 módulos eficientes capaces de ofrecer un proceso automatizado confiable, que las bolsas puedan desgarrarse por completo y que la basura pueda esparcirse sin problema en las bandas transportadoras que la conectan a los siguientes módulos; respecto a la cámara de sensado, es necesario que pueda detectar más de 3 tipos de materiales y dirigirlos a sus respectivos contenedores con un margen de error mínimo. Para poder ofrecer al mercado 2 módulos competentes que además aseguren su calidad en su proceso y su diseño.

Cabe destacar que para el desarrollo y diseño de los módulos se procedió, inicialmente a realizar un monitoreo tecnológico a nivel internacional, nacional y regional para poder tener referencias de las máquinas a desarrollarse, con esto se realizó un análisis donde se observó que existen variedad de propuestas de rompebolsas en el mercado, sin embargo en cuanto al dispositivo *cámara de sensado* no se encontró uno con las mismas características, por lo cual, se decidió hacer una innovación dentro de su campo.

Referencias

- [1] Quezada, J. P. (Febrero de 2012). Impacto en el medio ambiente derivado del los residuos sólidos en México. (A. L. Morcillo, Ed.) *Reporte CESOP*(51), 30. Recuperado el 24 de Abril de 2016.
- [2] Technology, R. R. (2015). *Reporte de Análisis y Tecnología Seleccionada*. Xalapa, Ver. Recuperado el 07 de Mayo de 2016.
- [3] Technology, R. R. (2015). *Reporte de Resultados y Justificación de Principios*. Xalapa, Ver. Recuperado el 07 de Mayo de 2016.

Agradecimientos

Agradecemos a los doctores Ervin Álvarez y Andrés López por la asesoría proporcionada, así como a los maestros Miguel Lara y Jonatan Rivera y al ingeniero Josué Miguel López por su desempeño en la realización de este proyecto.

Efecto de la escala en la percolación de líquidos en residuos sólidos urbanos

¹Diego Santana Rodríguez, ¹María del Consuelo Hernández Berriel, ¹María del Carmen Carreño de León,

¹María del Consuelo Mañón Salas, ¹Isaías de la Rosa Gómez

¹Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Lázaro Cárdenas s/n Col. Llano Grande Cp. 52148, Estado de México, México,
Ignacio López Rayón #111 San Buenaventura, Toluca, Méx., 7226556416, dsantanar@toluca.tecnm.mx.

Resumen

En México la principal alternativa para el confinamiento de los residuos sólidos urbanos (RSU) es el relleno sanitario (RESA), sin embargo requiere más de 20 años para estabilizarse. Con el fin de estabilizar los RSU entre 5 y 10 años se han realizado estudios a diferentes escalas mediante la recirculación de lixiviados u otros líquidos, para transformar la operación de los RESA convencionales a biorrellenos. En México son escasos los proyectos reportados por lo que en el presente estudio se llevó a cabo un análisis del efecto de la escala en la percolación de agua y lixiviado a través de la matriz de RSU en biorreactores Laboratorio (BLAB), Semipiloto (BSEPIL) y Piloto (BPIL), se dio seguimiento a las relaciones líquido/sólido (L/S) de 1 a 10 L/kg mediante los parámetros pH, Conductividad eléctrica (CE) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los lixiviados drenados, además se realizó la estimación de la capacidad de campo alcanzada por los RSU. La inyección de agua arrastró componentes de la matriz de RSU, mientras que algunos de los componentes de los lixiviados fueron retenidos en la misma, de manera que la capacidad de campo se vio afectada por el tipo de líquido más que por la escala. Las dinámicas de pH y CE con agua mostraron diferencias significativas para los BPIL y BSEPIL, mientras que para DQO la tendencia fue descendente en las tres escalas, lo que corrobora el efecto de lavado que sufre la matriz de RSU ante el paso de agua y lixiviado.

Palabras Clave: relación L/S, caracterización de lixiviado, capacidad de campo.

1. Introducción

La generación de RSU se ha incrementado debido al crecimiento acelerado de la población, al desarrollo industrial, a las modificaciones tecnológicas y al cambio en los patrones de consumo. En México la principal alternativa para una adecuada disposición final de RSU es el RESA, por la facilidad de operación y porque es relativamente económico; sin embargo presenta como desventajas la producción de lixiviados, que generalmente contienen altas cargas orgánicas y metales pesados; y la generación del biogás, compuesto principalmente por CH₄ y CO₂; donde ambos subproductos pueden ser tratados y/o aprovechados [1]. Se han llevado cabo estudios con inyección de líquidos (agua o aguas residuales) y recirculación de lixiviados crudos o tratados en RSU a diferentes escalas, con el fin de acelerar la actividad microbiana y así reducir los tiempos de estabilización. El conocer apropiadamente el efecto de la tasa de inyección y recirculación permitiría transformar la operación de los RESA a lo que se denomina biorrelleno [2].

Uno de los propiedades que se consideran para las pruebas de percolación de RSU es la relación volumen de líquido a inyectar/sólido seco (L/S, L/kg), donde se simula un escenario bajo condiciones específicas que permite el monitoreo de lixiviados drenados a través de determinar parámetros como pH, Conductividad Eléctrica (CE), contenido de humedad o potencial redox.

Si bien se tienen algunos trabajos en cuanto a la escala en el transporte de algunos componentes contaminantes, la compresión de los RSU y permeabilidad a través del arrastre de finos [3, 4], son escasos los trabajos en México, por lo que el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la escala en la percolación de agua y lixiviados en RSU, mediante el seguimiento de pH, CE y DQO en los lixiviados drenados en las pruebas de percolación.

2. Metodología

Muestreo y caracterización de RSU y lixiviados

Se obtuvo una muestra representativa de RSU del RESA de Zinacantepec, ubicado en el Estado de México, mediante el método del cuarteo descrito en la norma NMX-AA-015-1985 [5] y la caracterización fue adaptada de la NMX-AA-022-1985 [6] de la siguiente manera:

- Se eligieron cinco puntos de manera aleatoria de la superficie de la celda en operación, de los cuales se extrajeron aproximadamente 1000kg de RSU a una profundidad de 50 cm.
- Los RSU de los cinco puntos fueron colocados en el suelo conformándose un montículo, donde mediante el método de cuarteo se seleccionó una muestra de 250 kg de RSU y se colocaron en tambos herméticos para su transporte.
- La muestra de RSU fue separada en los 18 subproductos que se muestran en la Tabla 1, dividiéndolos en 2 subconjuntos (orgánicos e inorgánicos).
- Se reconstruyó la muestra de acuerdo a la caracterización de subproductos y se determinó el contenido de humedad por quintuplicado de acuerdo a la NMX-AA-016-1984 [7].

Tabla 1. Subproductos de RSU del RESA de Zinacantepec, Edo de México

Orgánicos		Inorgánicos	
Residuo Fino	Cartón	Metales	Hule
			Electrónicos
Papel y Cartón	Sanitarios	Plástico	Cerámica
			Medicamentos
Tetrapack	Jardinería / Fibra vegetal	Vidrio	Material de Construcción
Madera	Residuos Alimenticios	Textil	Otros

El lixiviado empleado en las pruebas se obtuvo de la fosa número dos de captación de lixiviados de dicho RESA conforme a la NMX-AA-003-1980 [8]. A los lixiviados colectados se les realizaron análisis de pH y CE DQO, de acuerdo a la NMX-AA-008-SCFI-2011 [9], NMX-AA-093-SCFI-2000 [10] y NMX-AA-030-SCFI-2001 [11] respectivamente.

Puesta a punto de biorreactores y cargado de RSU

Se utilizaron dos biorreactores de cada una de las tres escalas, denominando BLAB a los biorreactores laboratorio, BSEPIL a los biorreactores semipiloto y BPIL a los biorreactores piloto. Las dimensiones y materiales de los biorreactores se detallan en la Tabla 2. A cada biorreactor se le realizaron pruebas de hermeticidad, con la finalidad de asegurar la correcta operación de los mismos y evitar incidentes de cualquier índole.

Tabla 2. Características de Biorreactores

	Volumen interno (L)	Material	Diámetro Interno (cm)	Altura (cm)
BLAB	412.2	PVC C-40	5.4	18
BSEPIL	17.4	PVC C-80	19.2	60
BPIL	200	PAD	53	63

Los RSU se fraccionaron de manera manual, en relación 5:1 considerando el diámetro interno de cada escala de biorreactor. Se reconstruyeron los RSU para cada biorreactor y se cargaron a una densidad de

compactación de 650 kg/m³, conforme a lo recomendado por la NOM-083-SEMARNAT-2003 [12], que establece que la compactación debe ser mayor a 600 kg/m³.

Saturación de matriz de RSU con agua y lixiviado

De acuerdo a la Norma Europea CEN / TS 14405 [13], para llevar a cabo la percolación de líquidos en RSU, es necesario que la matriz de RSU dispuesta esté saturada, para que la percolación se realice de la manera más natural posible y no se estanque cualquier líquido inyectado por los intersticios de la misma. La saturación de la matriz de RSU se llevó a cabo con agua (A) o lixiviados (L) en cada biorreactor. Para el cálculo de volumen de líquido a adicionar a cada escala de biorreactor se empleó la ecuación 1:

$$\%Hbh = \frac{m_{H_2O}}{m_{H_2O} + m_{ss}} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

m_{H_2O} : la cantidad de agua a adicionar

m_{ss} : cantidad de RSU dispuestos

$\%Hbh$: porcentaje humedad base húmeda

Estimación de capacidad de campo

La capacidad de campo se estimó mediante la ecuación 2, donde la propiedad se reporta en L/kg de RSU [14].

$$cc = \frac{\left(\frac{H \cdot PV \cdot V}{100}\right) + (S_i - D_i) \cdot d}{\left[PV \cdot V \cdot \left(1 - \frac{H}{100}\right)\right]} \quad (2)$$

Donde:

cc: capacidad de campo L_{H_2O}/kg_{RSU}

S_i : volumen de líquido en litros agregado a la matriz de RSU al inicio

D_i : total de volumen de lixiviado drenado

d: densidad del agua (kg/L)

H: humedad de los RSU

PV: Peso volumétrico de la matriz de RSU

V: Volumen ocupado por la matriz de RSU

Pruebas de percolación a las relaciones líquido/sólido (L/S)

Una vez saturada la matriz de RSU del biorreactor, la CEN/TS 14405 [13], establece que se debe adicionar líquido para obtener las relaciones deseadas de líquido a sólido (volumen de líquido/cantidad de sólido, L/S), sugiriendo una velocidad de flujo lineal de 15 cm/día (0.0104 cm/min) y se decidió operar las tres escalas de biorreactores a 125.71 cm/día (0.0873 cm/min), flujo lineal resultante del flujo (2 mL/min) utilizado en anteriores pruebas de recirculación de lixiviados [15]. La inyección se inició de menor a mayor escala considerando el mismo orden y cantidad de biorreactores que en la saturación de la matriz de RSU, conforme al siguiente procedimiento:

- a) Calcular el volumen de líquido a inyectar y drenar, en función de la cantidad de RSU seco y las relaciones sugeridas por la CEN/TS 14405, (0.0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.5, 0.5-1.0, 1.0-2.0, 2.0-5.0 y de 5.0-10.0 L/kg), para este trabajo las relaciones implementadas fueron de 1.00-10.00 L/kg con incrementos de 1.00 L/kg.

- b) Inyectar el líquido por la parte superior del biorreactor a un flujo volumétrico tal que la velocidad de flujo lineal sea 0.0873 cm/min, para las pruebas a cada escala son de 2.0, 25.3 y 192.6 mL/min para BLAB, BSEPIL y BPIL, respectivamente.
- c) Extraer la muestra por la parte inferior de cada biorreactor correspondiente a la relación L/S (mL/g) previamente establecida y realizar las determinaciones.
- d) A los resultados se les realizaron pruebas de análisis de varianza (ANOVA) y Tukey HDS (acrónimo en inglés de Honestly Significant Differences) con el software STATGRAPHICS Plus 5.0 ®, para establecer las diferencias entre las escalas de los biorreactores.

3. Resultados

Para la caracterización de RSU, la suma de subproductos orgánicos representó el 67.21%, mientras que el subconjunto de inorgánicos fue el 32.79%. Se determinó que el contenido de humedad de los RSU fue de 34.4 ± 0.05 % Hbh.

3.1 Pruebas de percolación

Los valores de la capacidad de campo de las matrices de RSU contenidas en los biorreactores tuvieron valores de 0.817-0.846 L/kg para agua y 0.844-0.886 L/kg para lixiviado, bajo similares condiciones de compactación (650 kg/m^3) y saturación (50 %Hbh) [15]. Las cantidades de agua y lixiviado a inyectar se calcularon de acuerdo a las relaciones 1-10 L/kg, las cuales se presentan en la tabla 3 para cada escala.

Tabla 3 Relaciones L/S de biorreactores

Relación L/S (L/kg)	Volumen de líquido inyectado (L)		
	BLAB 0.2679 kg	BSEPIL 11.3100 kg	BPIL 90.0000 kg
1.00	0.2679	11.31	90.0
2.00	0.5359	22.62	180.0
3.00	0.8038	33.93	270.0
4.00	1.0717	45.24	360.0
5.00	1.3397	56.55	450.0
6.00	1.6076	67.86	540.0
7.00	1.8755	79.17	630.0
8.00	2.1434	90.48	720.0
9.00	2.4114	101.79	810.0
10.00	2.6793	113.10	900.0

3.2 Dinámicas de pH

Para 1.0 L/kg en las tres escalas el pH fue de 6.50-6.60, sin embargo posteriormente en el BPIL-A la tendencia fue ascendente hasta 7.00 L/kg, alcanzando valores de pH de 7.25-7.30 en los L/S de 7.00-10.00 L/kg. Los BLAB-A y BSEPIL-A presentaron variaciones con pH en el rango de 6.20-6.75 para los L/S de 1.00-6.00 L/kg y disminuyendo éstas de 7.00-10.00 L/kg. Para el rango de 1.00-10.00 L/kg fue el BPIL-A el que mostró diferencias significativas con las otras escalas (Figura 1).

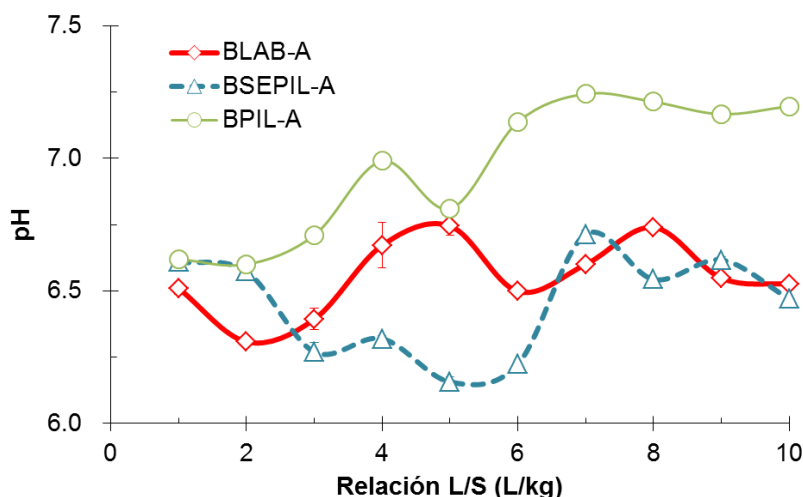


Figura 1. Dinámica de pH vs Relación L/S con agua inyectada

El lixiviado inyectado tuvo un pH de 8.71 ± 0.02 , el cual produjo lixiviados drenados con valores de 7.90, 7.96 y 7.70 para los BLAB-L, BSEPIL-L y BPIL-L respectivamente. El que el pH de estos lixiviados fueran menores que el inyectado puede atribuirse al arrastre de AOV. Para L/S 1.00 a 10.00 L/kg continuaron ascendiendo los valores dentro de los rangos de 8.16-8.35 y 8.60-8.88 respectivamente, sin embargo la dinámica de pH del BPIL-L fue menos alcalina y presentó diferencia significativa con respecto a BLAB-L y BSEPIL-L (Figura 2).

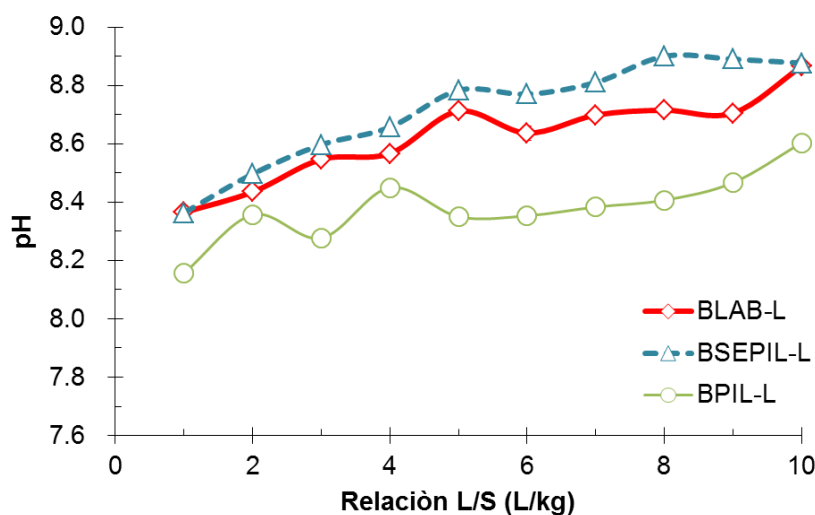


Figura 2. Dinámica de pH vs Relación L/S con lixiviado inyectado

3.3 Dinámicas de Conductividad eléctrica

Para 1.00-10.00 L/kg las dinámicas de CE descendieron conforme aumentó L/S, con valores en 1.00 L/kg para BLAB-A, BSEPIL-A y BPIL-A de 635, 1040 y 920 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente. De 1.00-4.00 L/kg las dinámicas de los BLAB-A y BSEPIL-A fueron diferentes, contrario 5.00 L/kg, donde los valores de CE fueron próximos a 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y a 10.00 L/kg fueron de 290-300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por otro lado para el BPIL-A los valores de CE fueron superiores (850-590 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de 4.00-10.00 L/kg) (ver Figura 3), lo cual puede atribuirse a una mayor concentración de iones disueltos en comparación con las otras escalas. El que las dinámicas

fueran descendentes es indicio de que la matriz de RSU de cada biorreactor presentó un efecto de lavado por la adición de agua.

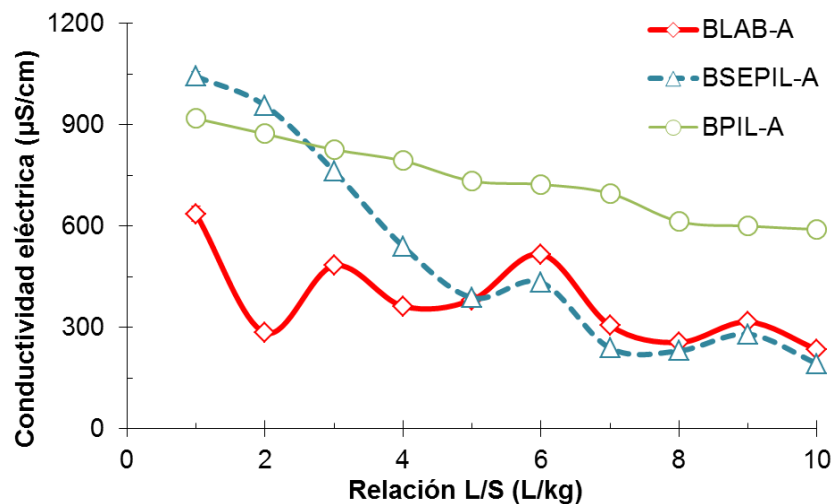


Figura 3. Dinámica de CE vs Relación L/S con agua inyectada

Las dinámicas de biorreactores con inyección de lixiviados de 1.00-10.00 L/kg se presentan en la figura 4, donde los valores de la CE oscilaron de 23 892-33 963 $\mu\text{S/cm}$. La CE en los BLAB-L fue mayor que en las otras escalas, alcanzando valores entre 30 000-31 000 $\mu\text{S/cm}$ de 9.00-10.00 L/kg. La dinámica del BSEPIL-L presentó grandes fluctuaciones de 1.00-5.00 L/kg estabilizándose posteriormente en valores entre 28 000-30 000 $\mu\text{S/cm}$. Para BPIL-L la CE fue ascendente hasta 5.00 L/kg (28 980 $\mu\text{S/cm}$) por la solubilidad de los iones, para después estabilizarse y descender ligeramente en 10.00 L/kg (27807 $\mu\text{S/cm}$). Lo anterior es una muestra del intercambio de iones que ocurre cuando se inyectan lixiviados en una matriz de RSU.

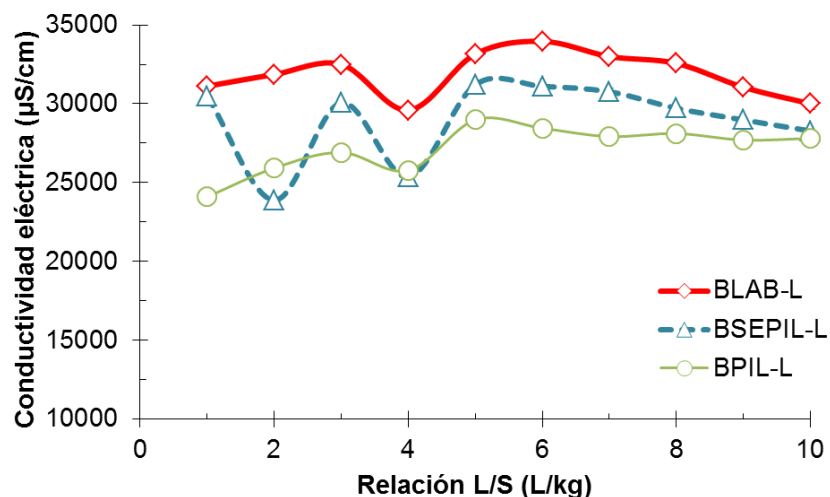


Figura 4. Dinámica de CE vs Relación L/S con lixiviado inyectado

3.4 Dinámicas de Demanda Química de Oxígeno

Los valores iniciales de DQO de lixiviados drenados del agua inyectada fueron de 324, 556 y 720 mg DQO/L para BPIL-A, BLAB-A y BSEPIL-A respectivamente (ver Figura 5), presentando tendencias descendentes para las tres escalas con las siguientes adiciones de agua, debido al arrastre de componentes de la fracción orgánica. Cabe resaltar que el BSEPIL-L presenta los mayores valores de DQO en el intervalo de 1.00-3.00 L/kg, la tendencia descendente del BPIL-A es la más pronunciada y alcanzó el valor de 7 mg DQO/L en 10.00 L/kg, mientras que los BLAB-A y BSEPIL-A reportaron valores de 23 y 98 mg DQO/L, respectivamente. Lo anterior corrobora el efecto de lavado que puede sufrir la matriz de RSU ante el paso de agua de lluvia.

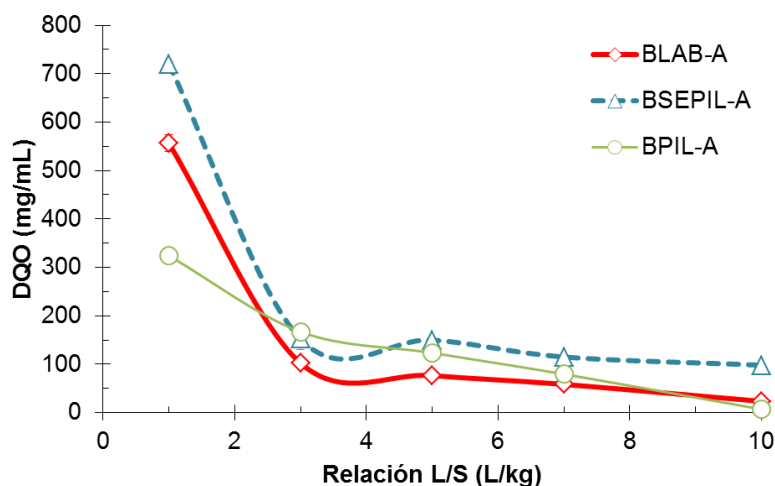


Figura 5. Dinámica de DQO vs Relación L/S con agua inyectada

En lo referente a las pruebas con inyección de lixiviados (ver Figura 6), el valor inicial de la DQO (1308 mg/L) se incrementó a 8030, 8625 y 8923 mg DQO/L en los BSEPIL-L, BLAB-L y BPIL, respectivamente, lo cual puede atribuirse al arrastre de materia orgánica. Si bien las dinámicas de DQO también presentaron tendencias descendentes, el BPIL-L mostró valores mayores, con un máximo de 8253 mg DQO/L en 5.00 L/kg, para después estabilizarse (7807 mg DQO/L) entre 7.00-10.00 L/kg. Los valores alcanzados a 10.00 L/kg fueron 6818 mg/L para BLAB-L y 6757 mg/L para BSEPIL-L, de acuerdo con la prueba de Tukey los BSEPIL-L presentaron diferencia significativa con respecto al BLAB-L y BPIL-L para este parámetro.

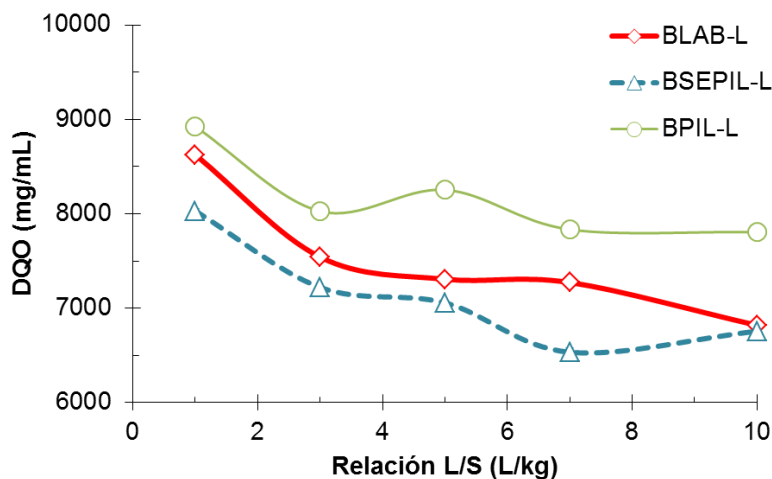


Figura 6. Dinámica de DQO vs Relación L/S con lixiviado inyectado

4. Conclusiones

La capacidad de campo de los RSU fue mayor cuando se inyectaron lixiviados, debido a que los compuestos orgánicos de éstos retuvieron agua.

Las dinámicas de pH con inyección de agua y lixiviados mostraron diferencias significativas en este parámetro para BPIL, con respecto a BLAB y BSEPIL.

La dinámica de CE con inyección de agua del BPIL presentó diferencias significativas con respecto a los BLAB y BSEPIL, mientras que para la inyección de lixiviados, las dinámicas fueron similares en los tres tamaños de biorreactores.

Para la dinámica de DQO no se observó efecto de la escala para las pruebas de percolación con agua, mientras que para la inyección de lixiviados sólo se determinó diferencia significativa de los BPIL con respecto a BLAB y BSEPIL.

Referencias

1. Reinhart, D.R., P.T. McCreanor, and T. Townsend, *The bioreactor landfill: Its status and future*. Waste Management & Research, 2002. 20(2): p. 172-186.
2. Hernández-Berriel, M.d.C., Mañón-Salas, María del Consuelo, Otoniel Buenrostro-Delgado, Juan M. Sánchez-Yáñez, Liliana Márquez-Benavides, *Landfill leachate recirculation. Part I: solid waste degradation and biogas production*. Environmental Engineering and Management Journal, 2014. 13: p. 2687-2695.
3. Hossain, M.S., K.K. Penmethsa, and L. Hoyos, *Permeability of Municipal Solid Waste in Bioreactor Landfill with Degradation*. Geotechnical and Geological Engineering, 2008. 27(1): p. 43-51.
4. Fleming, I., *Indirect measurements of field-scale hydraulic conductivity of waste from two landfill sites*. Waste management, 2011. 31(12): p. 2455-2463.
5. DOF, *Residuos Sólidos Municipales - Muestreo - Método de Cuarteo*. 1985, Diario Oficial de la Federación: México. p. 4.
6. DOF, *Selección y Cuantificación de Subproductos*. 1985, Diario Oficial de la Federación: México. p. 4.
7. DOF, *Determinación de Humedad*. 1984, Diario Oficial de la Federación. p. 2.
8. DOF, *AGUAS RESIDUALES - MUESTREO*. 1980, Diario Oficial de la Federación: México. p. 8.
9. DOF, *Determinación del pH*. 2011, Diario Oficial de la Federación. p. 26.
10. DOF, *Determinación de la Conductividad Electrolítica*. 2000, Diario Oficial de la Federación. p. 27.
11. DOF, *Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas*. 2001, Diario Oficial de la Federación. p. 23.
12. DOF, *Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial*. 2004, Diario Oficial de la Federación.
13. CEN, *Characterization of waste - Leaching behaviour tests - Up-flow percolation test (under specified conditions)*. 2004, European Committee for Standardization: Brussels. p. 25.
14. De Velásquez, M.T.O., et al., *Determination of field capacity of municipal solid waste with surcharge simulation*. Waste Management & Research, 2003. 21(2): p. 137-144.
15. Hernández-Berriel Ma. C., C.M.-S., J.M. Sánchez-Yáñez, J. Lugo-de la Fuente and L. Márquez Benavides, *Influence of Recycling Different Leachate Volumes on Refuse Anaerobic Degradation*. The Open Waste Management Journal, 2010. 3: p. 155-166.

Análisis de lixiviados generados en reactores simulando un relleno sanitario

¹ Daniel Alejandro Valdés Acata, ² Laura Gisela Abad Aldana, ³ Juana Sánchez Martínez, ⁴ Alethia Vázquez Morillas, ⁵ Margarita Beltrán Villavicencio, ⁶ Maribel Velasco Pérez, ⁷ Mauricio Cano Blanco

¹ Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Avenida San Pablo 180. Delegación Azcapotzalco, Reynosa Tamaulipas. Código postal 02200. Ciudad de México, D.F. 5318 – 9075 y al2143804122@alumnos.azc.uam.mx. ² Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco ³ Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

Resumen

La sociedad actualmente busca contrarrestar el impacto de sus residuos en el ambiente, ya sea reduciéndolos, reusándolos o reciclándolos. Dentro de este contexto, se encuentran los residuos de bolsas plásticas, que con respecto a su composición y su falta de correcta regulación representan un contaminante emergente relevante; ya que tienden a ser dispuestos en rellenos sanitarios, donde se acumulan durante grandes periodos de tiempo. El presente estudio, aborda la simulación del comportamiento de películas plásticas dentro de un entorno similar a un relleno sanitario. Las películas plásticas seleccionadas son PEAD-OXO (polietileno con agentes pro-oxidantes), PEAD (polietileno de alta densidad convencional), ECOVIO® (plástico composteable) y PEAD-OXO-OXO (con aditivo pro-oxidante pero sometido a oxidación en una cámara de intemperismo simulado). Durante esta fase del proyecto se muestran los resultados de la caracterización de lixiviados provenientes de la reacción de descomposición de los residuos llevada a cabo en los reactores que simulan un relleno sanitario.

Palabras Clave: *Bolsas plásticas, simulación, lixiviados, relleno sanitario.*

1. Introducción

En México los plásticos constituyen el 12.88% de los RSU [1]. Actualmente no se posee con los mecanismos y programas efectivos de separación en la mayor parte del país, por lo que muchos de los residuos plásticos son depositados en los sitios de disposición final [2].

Se han propuesto alternativas para mitigar el impacto ambiental de los plásticos, tales como el reciclaje y el aprovechamiento energético, que son soluciones de fin de vida. Otra alternativa es el uso de plásticos biodegradables y oxo-degradables. Sin embargo, se desconoce el comportamiento de los mismos en rellenos sanitarios, que es a donde van a parar en muchos casos debido al sistema de gestión del país.

Simulación en rellenos sanitarios

Para predecir los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren dentro de un relleno sanitario se utilizan las observaciones en el sitio, modelos matemáticos y experimentos a escala laboratorio. Los experimentos a escala laboratorio son de los más recurridos, donde se pueden estudiar el comportamiento de los residuos por medio de pruebas por lotes o mediante un reactor de simulación de un relleno sanitario (LSR, por sus siglas en inglés) que puede tener un volumen de 0.1 a 10 m³ y se utilizan principalmente para evaluar el futuro comportamiento de las emisiones de los rellenos sanitarios [3]. Los parámetros clave para el diseño de estos reactores son volumen, tipo de material, presión que debe resistir, temperatura, número de reactores a construir, tamaño de partícula que retienen las capas del sistema de recolección de lixiviados.

2. Metodología

Se construyeron 27 dispositivos cilíndricos con recipientes tipo estanco, que fungieron como reactores, en los cuáles se está llevando a cabo la simulación de la reacción de degradación que ocurre dentro de un relleno sanitario. Se seleccionaron porta filtros de agua transparentes (acrilonitrilo-estireno) con capacidad

de 2.20 L, los cuales se adaptaron para que posean con una salida de biogás y de lixiviado generados durante el proceso.

Los reactores también cuentan con un sistema de recolección de lixiviados, compuesto de capas de tezontle (para retener partículas mayores a 5 mm), malla sombra (para retener partículas mayores a 2mm), malla de acero inoxidable (como soporte del sistema y separar los lixiviados generados de los residuos) y una perforación al final del recipiente con un tapón de acero inoxidable para mantener la estanquidad del reactor y poder recoger lixiviados generados. En la figura 1 se muestra un esquema del reactor.

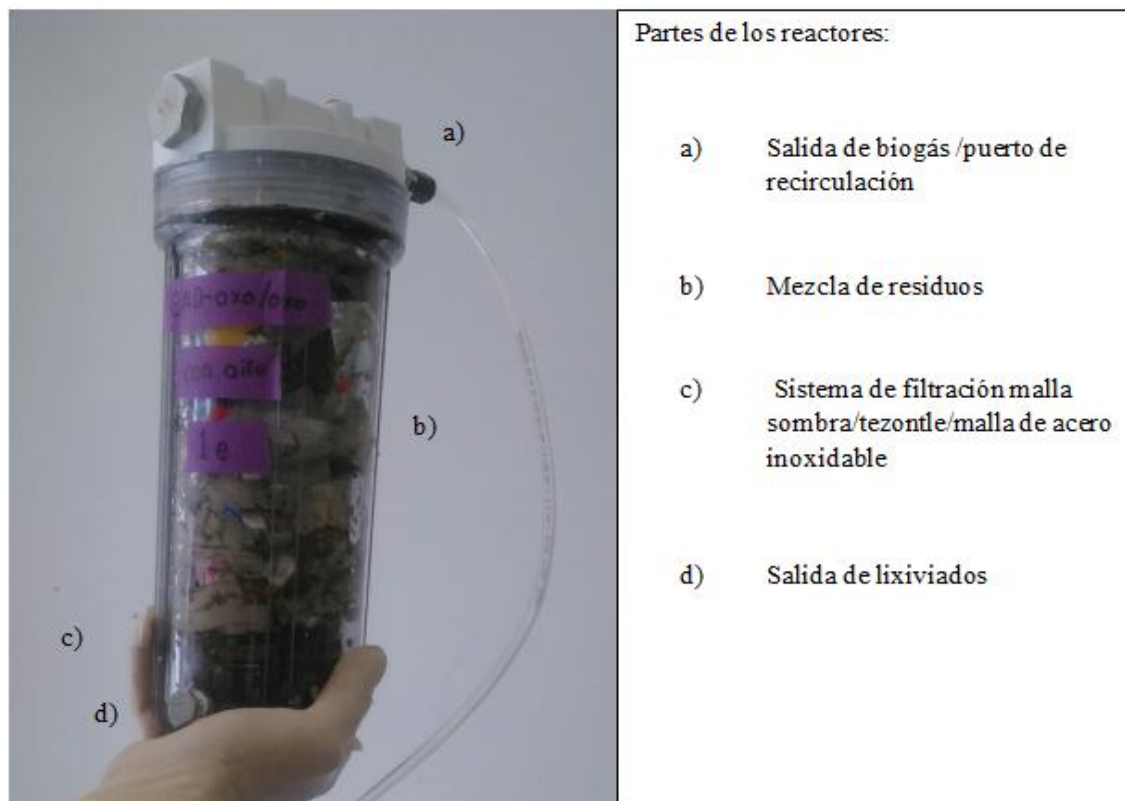


Figura. 1. Esquema de los reactores de simulación de un relleno sanitario

Cada reactor se cargó con 800 gr de una mezcla de RSU (Residuos Sólidos Urbanos) previamente saturada con 50 kg de agua y de composición similar a la que existe en la Ciudad de México (Tabla 1). Por último se colocó un forro de PEAD oscuro para evitar interferencias por la luz solar y se utilizaron bolsas Tedlar® y bolsas de suelo para almacenar el biogás generado durante la reacción.

La duración del experimento se tiene programada para una duración de 159 días, durante los cuales se monitoreará la reacción de descomposición, mediante la caracterización de la generación de biogás y lixiviados. Estos últimos; caracterizados a los 76 días, con la DQO y pH que están reportados en literatura como los parámetros de que brindan mayor información durante el transcurso de las diferentes etapas de la digestión anaerobia [4]. También mediante el contenido de metales, por absorción atómica.

Tabla 1. Mezcla de RSU similar a la obtenida en la Ciudad de México

Componente	Porcentaje en masa	Material	Proporción en masa	Porcentaje
Materia Orgánica	44	Jardinería 11 %	Pasto	6.5
			Ramas	2.6
			Hojas	1.9
		Alimentos 33%	Tortilla y pan	16
			Verduras y frutas	8
			Carne, sopa, arroz y frijoles	9
Papel y cartón	20	Bond y estraza		6
		Cartón		6
		Cartón multicapa		2
		Periódico		6
Vidrio	4	Claro		2
		Oscuro		2
Metal	4	Ferroso (virutas)		1
		Aluminio		3
Textil	2	Algodón		1
		Sintético		1
Plástico	13	Bolsas de plástico		6.5
		Plástico rígido		5.5
		Unicel		1
Madera	1	Aserrín		1
Pañal desechable	7	Con orina		5
		Fecal		2
Otros	5	Cera		1
		Cuero (zapatos)		1
		Huesos		1
		Bolsa metalizada		1
		Polvo		1

3. Resultados y discusión

Las pruebas para cada plástico se han realizado por triplicado; siendo la nomenclatura usada para este experimento: Blanco (sin películas plásticas), PEAD-Oxodegradable con presencia de aire, PEAD-Oxodegradable con nitrógeno (mediante una purga con este gas), PEAD-Convencional con aire, PEAD-Convencional con nitrógeno, PEAD - Oxo/oxo con aire, PEAD - Oxo/oxo con nitrógeno, ECOVIO con aire y ECOVIO con aire.

Los análisis de la DQO se realizaron mediante un equipo HACH y el método de dilución 8043. Los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Análisis de la DQO

Muestra	DQO (mg/L)
Blanco	25100
PEAD-Oxodegradable con aire	21850
PEAD-Oxodegradable con nitrógeno	23250
PEAD-Convencional con aire	19900
PEAD-Convencional con nitrógeno	23250
PEAD - Oxo/oxo con aire	22250
PEAD - Oxo/oxo con nitrógeno	20750
ECOVIO con aire	25550
ECOVIO con aire	24050

El pH se midió a las 3hr de ser tomadas las muestras de los reactores; dentro del intervalo de tiempo establecido por la NMX-AA-008-SCFI-2011. Estas lecturas se realizaron por medio de un equipo HANNA Instruments pH 213 Microprocessor pH Meter previamente calibrado. La tabla 3 muestra los resultados.

Tabla 3. Análisis de pH

Muestra	pH
Blanco	5.793
PEAD-Oxodegradable con aire	5.586
PEAD-Oxodegradable con nitrógeno	5.353
PEAD-Convencional con aire	5.56
PEAD-Convencional con nitrógeno	5.27
PEAD - Oxo/oxo con aire	5.58
PEAD - Oxo/oxo con nitrógeno	5.33
ECOVIO con aire	5.326
ECOVIO con aire	5.383

Los metales analizados en los lixiviados fueron Co, Mn, Pb, Cd y Zn, mediante un equipo Agilent Technologies 55AA Atomic Absorption Spectrometer. Los resultados se muestran en las figuras 2 a la 6.

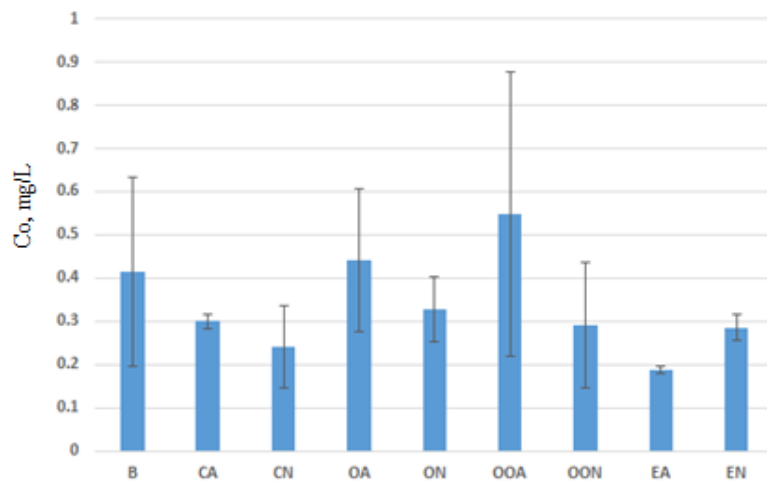


Figura. 2. Grafica de la concentración Co en lixiviados generados en los diferentes reactores

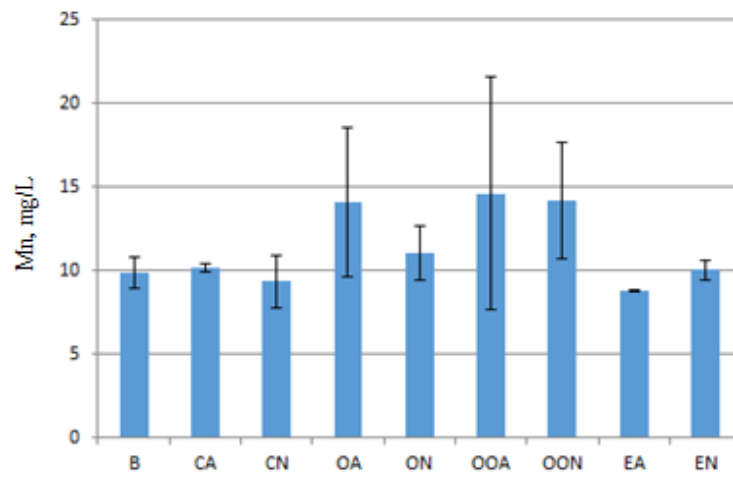


Figura. 3. Grafica de la concentración de Mn generados en lixiviados de los diferentes reactores

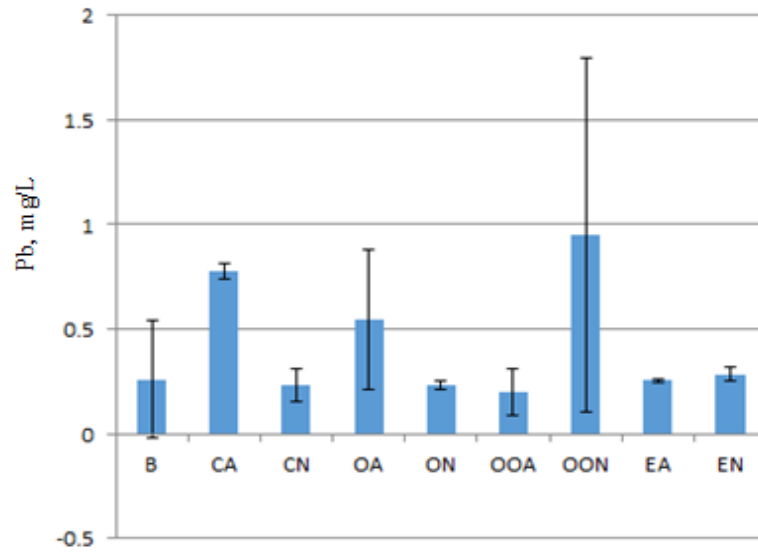


Figura. 4. Grafica de la concentración de Pb generados en lixiviados de los diferentes reactores

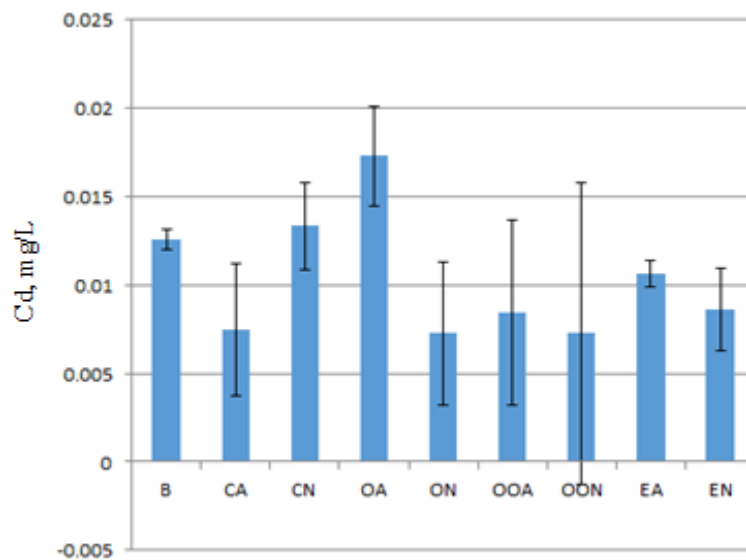


Figura. 5. Grafica de la concentración de Cd generados en lixiviados de los diferentes reactores

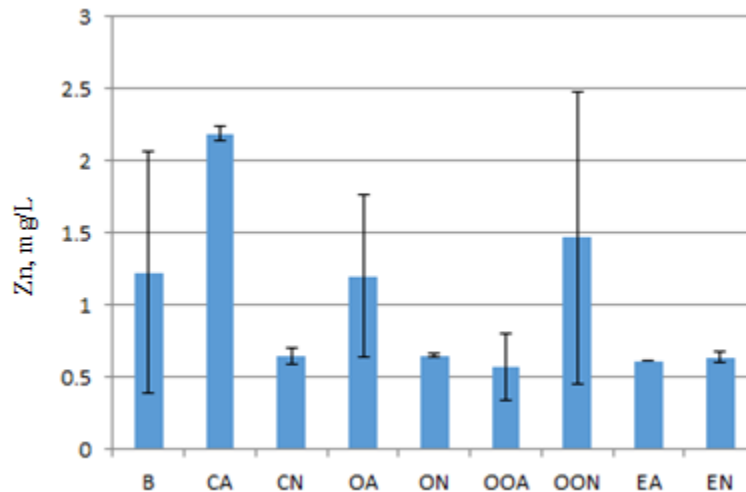


Figura. 6. Grafica de la concentración de Zn generados en lixiviados de los diferentes reactores

Se realizaron mediciones de pH, DQO y metales a los 76 días. En primera instancia; el pH es fundamental para saber si los diferentes sistemas se encuentran dentro de un intervalo óptimo para el crecimiento de los microorganismos predominantes en la digestión anaerobia. El pH en todos los reactores se encuentra dentro del intervalo de 5, lo cual nos indica que los sistemas se encuentran en la etapa acetogénica de la digestión [4]. Los resultados de la DQO se encuentra en el intervalo entre 9181-25455 mg/L. Lo cual indica que los lixiviados se encuentran en una etapa joven [5]. En cuanto al contenido de metales se puede observar que en la mayoría de los casos una mayor incidencia en los plásticos oxo-degradables.

4. Conclusiones

De manera general se puede concluir que los sistemas se encuentran dentro de la etapa acetogénica, con la producción de ácidos grasos volátiles y los residuos orgánicos se encuentran parcialmente descompuestos.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Tecnologías Sustentables y al Programa de Automatización de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

Referencias Bibliográficas

- [1] INE-SEMARNAT Instituto Nacional de Ecología- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2006). Diagnóstico Básico para la gestión integral de los residuos. México. SEMARNAT.
- [2] Vázquez, A., Espinosa, R., Beltrán, M., Velasco, M., (2013). Bioplásticos y plásticos degradables. En línea < <http://www.anipac.com/bioplasticos.pdf> > Recuperado el 01/06/2016
- [3] Fellner, J., Laner, D., Brunner, P. H., & DÖBERL, G. (2011). Landfill simulation reactors—A method to predict the behaviour of field-scale landfills?. In Fourth international workshop on Hydro-Physico-Mechanics of Landfills, Santander, Spain.
- [4] Vega, M. E. L., & Herrero, R. S. (2012). Estudio preliminar del comportamiento de rellenos sanitarios como biodigestores a escala de laboratorio. *Afinidad*, 69(558).
- [5] Rivera-Laguna, E., Barba-Ho, L., & Torres-Lozada, P. (2013). Determinación de la toxicidad de lixiviados provenientes de residuos sólidos urbanos mediante indicadores biológicos. *Afinidad*, 70(563).

SECCION 7

EDUCACIÓN

AMBIENTAL

Educación ambiental: transformando los residuos sólidos

Roxana Pérez López¹, Lidia Silva Iñiguez¹, Ernesto Pérez León², Gloria A. Jiménez Ramón

¹Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima. Km. 20, carr. Manzanillo-Barra de Navidad. 01 (314) 33 11 205

²Escuela Superior de Comercio Exterior. Universidad de Colima. Av. Elías Zamora Verduzco núm. 269. Barrio 3. Col. Valle de las Garzas. Manzanillo, Col. C.P.28219 01 (314) 33 3 13 60 rperez@uacol.mx

Resumen

La economía actual se basa en el consumo, una gran proporción de los residuos sólidos se siguen manejando en la misma forma que hace 2000 años, se depositan en los basureros, a cielo abierto o en rellenos sanitarios. En el periodo de agosto 2013 a diciembre del 2014, se realizaron actividades ambientales que tienen como objetivo el fomentar una cultura ambiental que propicie actitudes consientes hacia el cuidado del entorno, se efectuaron dos proyectos “creación de artículos, utilizando la técnica de reciclaje” y “elaboración de abono orgánico” el primero consistió en realizar artículos con materiales obsoletos, rotos, incompletos, viejos y sin utilidad, que los participantes tuvieran en sus casas y el gasto para su realización fuera el mínimo, asimismo realizar el manual de procedimiento de cada uno. Se formaron 6 equipos de 4 integrantes los cuales, recolectaron, sacudieron, lavaron y estilaron los materiales, asimismo colectaron pintura, cable, focos, rafia, chaquiras, encaje entre otros. Cada equipo decidió realizar, en función de los materiales recolectados. Se realizaron 56 artículos (alhajeros, portapapeles, bolso de mujer, cortina, lámparas de PET y angeo de palmas de coco, tapetes, paneras, flores, rehiletes, floreros y lapiceros) y 7 manuales. En el segundo se creó “abono orgánico” 262 kg, con material de poda de árboles, pasto y ramas procedentes de las áreas verdes del campus, aserrín, entre otros. La ventaja del reciclaje, es la disminución del impacto ambiental o de la alteración del paisaje por residuos sólidos esparcidos por el suelo.

Palabras Clave: Educación, inorgánico, orgánico, residuo, transformación

1. Introducción

Desde tiempos remotos la basura es el mayor problema de contaminación en todo el mundo. Durante un periodo aproximadamente de un año seis meses se trabajó con alumnos que estudiaron la materia optativa de Educación Ambiental, utilizando como herramienta de concientización la técnicas de las 5 “R”, *recicla*, que es un proceso fisicoquímico o mecánico que consiste en someter a una materia o un nuevo producto ya utilizado a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima un nuevo producto; *reutilizar*, es la utilización de un artículo varias veces, incluyendo productos recargables; *reduce*, es la disminución del volumen de la basura; *rechaza*, no adquirir productos que sabemos que son tóxicos para la humanidad; y *repara*, es arreglar algo que es de utilidad [1]. La legislación mexicana en materia de residuos sólidos los define como “*Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final*”. La composición promedio de la basura en México es plástico 6.1%; metal 3.3; textiles 1.5%; papel y cartón 14.9%; vidrio 6.4%; otro tipo de basura 17% y residuos de comida, poda de jardines y materiales orgánicos similares 50.7% [2]. Con la finalidad de fomentar una cultura ambiental en los alumnos que propicie actitudes conscientes hacia el cuidado del entorno, se realizaron dos proyectos “creación de artículos, utilizando la técnica de reciclaje” y “elaboración de abono orgánico”, para que los alumnos conozcan opciones fáciles, económicas y disminuir los residuos sólidos que afectan al ambiente.

2. Desarrollo

Se utilizaron dos vertientes “aprendizaje significativo y la participación”. En el mes de agosto de 2013 a diciembre de 2014, se les solicito a los alumnos de 7° y 3° semestre de la Licenciatura en Administración de Recursos Marinos (LARM), figura 1 y Licenciatura en Gestión de Recursos Marinos y Portuarios (LGRMyP) (ver Figura 2) de la Facultad de Ciencias Marinas (FCM), que colectaron durante 20 días

residuos sólidos inorgánicos tales como: plásticos, metal, madera, vidrio, tela; debiendo ser materiales obsoletos, rotos, incompletos, viejos y sin utilidad, que los tuvieran en sus casas. Al recolectarlos tenían que sacudirlo, lavarlos, estilarlos y guardarlos, asimismo se les pidió colectara otros materiales tales como rafia, chaquiras, tela, listón, entre otros, que sirvieron para la creación de los nuevos artículos. Se realizaron equipos en función, de los materiales recolectados.



Figura 1. Alumnos de 7° sem., de LARM



Figura 2. Alumnos de 3° sem., de LGRMyP

2.1 Elaboración de lámpara con PET y coco

Material: 6 botellas de PET de capacidad de 2 ½ litros, 2 piezas de cartón, 1m cable de deseco, cinta aislar, un foco, 2 botes, uno de pintura en aerosol plateado y el otro de barniz, 45 palitos de paleta de madera, 20cm de tubo, 1 tijeras, 1 perforadora, 1 portalámparas, 1 clavija, 30 cm de alambre, silicón en frío y 4 trapecios de 15X15 de anejo de la palmas de coco.

2.1.1 Procedimiento

Recortar los asientos de las botellas de refresco de 2.5 litros a una distancia de 5cm, pintarlos de plateado y ponerlos a secar; unir y pegar con silicón en frío los palitos de madera para formar la base y dejar secar 1 hora; hacer un orificio y pegar el tubo; insertar los asientos encontrados en el tubo, y pasar por dentro el cable y colocar la clavija; cortar el cartón de forma de trapecios, pintar una de las caras y dejar secar y pegarlos al portalámparas; ya seco, pegar el anejo de palma de coco y dejar secar.

2.1.2 Elaboración de cortinas con botes de plástico.

Material: 30 botes de plástico (presentación de un litro), 3 tijeras, 1lt de silicón en frío, 1 madeja pabilo, 3 perforadoras, pintura en aerosoles, 3 regla de 10 cm 50 tapaderas de botes de leche, 2 varilla de 1m y decoración (lentejuela, botones, lo que encontraran en casa).

2.1.2.1 Procedimiento

Recolectar 30 botes de plástico; lavarlos con jabón y agua; recortar los cuatro lados rectangulares; en cada rectángulo con un lápiz se dibujaron diferentes figuras geométricas como círculos, triángulos, rectángulos y se recortan; pintar con el aerosol las figuras y secar durante 15 min.; perforar las figuras por dos extremos; cortar 8 tiras de estambre de 3m de largo, se amarraran a la varilla y posteriormente se colocar en tira diferentes figuras hasta que se termina el estambre.

2.1.3 Elaboración de alhajeros, porta-pañuelos y lapiceros de material de plástico.

Material: 25 botes de leche, 4 tijeras, 20m estambre, 3 perforadoras, 3 pinturas en aerosol de colores y 4 lápices.

2.1.3.1 Procedimiento

Recolectaron 30 botes de plástico en presentación de un litro; lavar los botes con agua jabón y cloro; dejar secar; recortar las cuatro caras del bote en forma de rectángulo de 10cm; marcar los rectángulos con puntos cada 5mm y perforar; unir con pabito o rafia, los rectángulos; formar la cajita y la tapadera; pintar con aerosol; secar al sol por 2 horas; decorar al gusto con chaquira, lentejuelas, botones, etc.

2.2 Elaboración de material orgánico

Se le solicito al personal de jardinería del campus, del área de la FCM, que almacenaran los restos de jardinería y el lugar de depósito durante 2 meses, figura 3.



Figura 3. Recolección de material

Material: residuo orgánico: restos de jardinería tales como ramas, hojas, pasto y raíces, 4 kg azúcar (catalizador), 10 palas, 2 carretillas, 3 cubeta de 19lt, 6 cuchillos, 5 machetes, 10 bieldos, 3 rastrillos, 6 tabla de madera para picar y 6 m., de plástico negro.

2.2.1 Procedimiento

El material de jardinería rama, hojas y raíces se cortan con machete y cuchillos en pedazos de aproximadamente 3 a 5 cm, y estos pueden estar verdes o secos figura 4, se revuelven hasta hacer un montículo; en un litro de agua se le incorpora 4 kg de azúcar, se revuelve hasta lograr una solución azucarada y se vierte a una cubeta con 18lt de agua y se remueve figura 5. Los 19lt de solución se incorporan al montículo y se remueve durante 15 minutos figura 6, se cubre con plástico negro figura 7 y durante 10 días se les agrego diariamente 4 capas de restos de jardinería al montículo y se le deposita 19lt agua cada tercer días, una vez que el montículo tiene una altura de un metro y medio ya no se le agrega material, cada tercer día durante un mes se remueve, los dos meses restantes se remueve cada semana y al concluir 4 meses está listo el abono orgánico.



Figura 4. Corte



Figura 5. La solución



Figura 6. Removiendo



Figura 7. Tapando

3. Resultados

3.1 Material inorgánico

Se formaron 6 equipos de 4 integrantes; el 100% de los equipos recolecto envases de plástico (leche, jugos, PET), el 30% (2) metal y 15% (1) tela. El 100% presento materiales como cordón, rafia, pintura, cable, tijeras y resistol y el 15% (1) llevo chaquiras, encaje, pinzas de cortar, cúter y un foco. Con el material plástico, con botes de leche y jugos se realizaron (10) alhajeros, (7) cajitas para guardar, (2) porta pañuelos

desechables un portalápices, para su adorno se utilizaron fomy, chaquiras, lentejuelas, papel y botones, (5) floreros, (10) flores y (8) rehiletes figura, 9 y 10.



Figuras 8 y 9. Cajas, alhajeros y porta pañuelos de plástico.



Figura 10. Floreros, flores y rehiletes de plástico

Se realizaron dos cortinas una se hizo con las tapas y la parte plana del envase de leche se cortó en forma circular, cuadrada y rectangular, unidos con pabilo, figura 11 y la otra se hizo con tarjetas de teléfono como lo muestra la figura 12.



Figura 11. Cortina de tarjeta de teléfono



Figura 12. Cortina envase de plástico

Con PET se realizó un dulcero en forma de cerdito, figura 13.



Figura 13. Dulcero de PET

Con madera, PET y angeo de palma de coco se hizo una lámpara, figuras 14 y 15.



Figuras 14 y 15. Lámpara de PET, madera y angeo de coco.

Con las tapas de las latas de refresco (espitas), se realizaron un cinturón y una bolsa tipo morral como lo muestra la figura 16 y 17.



Figura 16. Cinturón de material de metal Figura 17. Morras de material de metal

Con botellas de refresco de material de PET, de 355ml se elaboraron para niños bancos para sentarse como lo muestra la Figura 18.



Figura 18. Bancos para niños de material de PET.

En total se realizaron 56 artículos con residuos inorgánicos que los participantes comúnmente tiran a la basura.

3.2 Material Orgánico

Se formaron 4 equipos de 6 integrantes y uno de 3 los cuales se reunieron por afinidad y amistad. El terreno seleccionado fue una superficie rectangular de 5X9 m. El total de material de poda, pasto y aserrín que se utilizó se muestra en la tabla 1.

Tabla1. Total de material poda, pasto y aserrín

Material	kg
pasto de jardinería	102
podas de árboles	195
aserrín	75
total	372

Se obtuvieron 262 kg de composta, durante el proceso presentaron emisiones de vapor e incremento en la temperatura, las características físicas fueron; textura fina, olor a tierra mojada y color negro intenso, como lo muestra la Figura 19. Se realizó un proyecto de elaboración de composta con el material recabado en la cocina y bares de un hotel, ubicado en Baja California las diferencias que se presentaron en las compostas, son el resultado del uso de diferentes materiales en la elaboración. El humus producto del compostaje, pueden aplicarse en las áreas verdes y las macetas del hotel, con el fin de fertilizarlas con un producto natural [3].



Figura 19. Cerniendo la composta

La composta contiene nitrógeno, fósforo y potasio, que son los tres micronutrientes que dan fuerza a las plantas; contienen también, muchos minerales como el zinc, cobre, magnesio y selenio, los cuales son indispensables (en pequeñas cantidades) para la fertilidad de la tierra; pero lo más importante es que contiene humus (materia orgánica). La tierra rica en humus es sumamente suave y fácil de labrar, la tierra con alto contenido de humus se mantiene húmeda por más tiempo y necesita menos agua; por otra parte también: se obtiene uno de los mejores fertilizantes orgánicos; nutre y mejora el suelo; sirve para el mantenimiento y mejoramiento de las plantas; evita la contaminación (olores y atracción de fauna nociva), al no depositar materia orgánica en la basura; al mejorar las plantas, mejoramos el ambiente y por lo tanto, contribuimos a mejorar nuestra calidad de vida [4].

4. Conclusiones

El transformar los residuos orgánicos, tales como pasto, ramas y raíces en un producto con beneficios ambientales y económicos fueron las satisfacciones que tuvieron los alumnos al preparar la composta. El incluir en el proceso de composta El azúcar ayuda a que la descomposición de la materia orgánica sea más rápida. La elaboración de la composta es un proceso fácil, se requiere de constancia, con cuidados mínimos y se utiliza herramienta fácil de maniobrar.

La basura se crea cuando mezclamos de manera irresponsable unos desechos con otros, cerca del 92% de los desechos se pueden reciclar de una manera u otra, en cambio, cuando ya generamos la basura, sólo se

puede rescatar un 30% de los desechos para reciclarlos. Es por eso, que para que exista un buen reciclaje general, cada individuo debe de cooperar en el proceso de separación de residuos.

Los alumnos dedujeron que reciclar los residuos orgánicos e inorgánicos es una muy buena opción de crear una micro empresa utilizando como materia prima, algo que nadie quiere y que desechan. La educación ambiental busca generar conocimientos, reconocer habilidades, fortalecer valores y promover actitudes de respeto hacia la protección y el mejoramiento del ambiente, esto con el fin de promover una acción participativa y lograr un bien colectivo común [5].

Agradecimientos

La presente memoria en extenso y la presentación se financiaron con recurso de PROFOCIE 2016.

Referencias

- [1] Susanne Heisse, Lenny Limpus S. y Florence Amoretti. (2008). *Manual de reciclaje. Eco-Festival*. Primera edición. Guatemala.
- [2] Vázquez-Morillas A. (2013) Manual del curso “*Gestión y Manejo de los residuos sólidos*” Facultad de Ciencias Marinas. Universidad de Colima. México.
- [3] Guadarrama-Oliver, R. (2011). *Manual Elaboración de composta*. Departamento de Biología Vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México, 75pp.
- [4]<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/documents/fichasaapt/elaboraci%C3%B3n%20de%20compоста.pdf> (Portal visitado el 24-06-2014).
- [5] Barraza-Lomeli L. (2007). *Diseño y evaluación de proyectos de investigación en educación socioambiental*. Manual. Universidad Autónoma de México.

Plásticos desechados en una comunidad: análisis para proponer estrategias para mitigar el deterioro del medio ambiente

¹Ricardo Herbé Cruz Estrada, ¹José Gonzalo Carrillo Baeza, ¹Carlos Vidal Cupul Manzano, ¹Gilberto Alejandro Can Cocom, ¹Ana Gabriela Canul Tun, ²Verónica Franco Toriz

¹ Grupo de Reciclado, Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Calle 43 # 130, Col. Chuburná de Hidalgo, CP 97200, Mérida, Yucatán, Tel: (999) 9428330, e-mail rhcruze@cicy.mx

² Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Calle 43 # 130, Col. Chuburná de Hidalgo, CP 97200, Mérida, Yucatán

Resumen

El presente trabajo presenta resultados preliminares sobre cómo respondió una comunidad a una convocatoria de separación y clasificación de residuos sólidos. El estudio se circunscribió a la comunidad del Centro de Investigación Científica de Yucatán y a contabilizar durante intervalos de tiempo determinados, todo el material depositado en un contenedor destinado específicamente para objetos de polietileno de alta densidad, los cuales se clasificaron en dos grupos; los que son de este material y los que no lo son. Para ejemplificar los beneficios de la puesta en práctica de programas de reciclado se obtuvo un material compuesto con polietileno de alta densidad reciclado y residuos de madera, con potencial de uso para fabricar productos alternativos de construcción; lo que proporciona valor a los residuos, al mismo tiempo de que se contribuye a mitigar el deterioro del medio ambiente puesto que se utilizaría menor cantidad de materias primas vírgenes para la producción. En general los resultados del estudio hacen suponer que deben reforzarse las campañas de educación sobre aspectos de separación y clasificación de residuos sólidos. La experiencia adquirida permite plantear estrategias más formales que involucren también actividades educativas lúdico-creativas que generen consciencia y motiven aún más la participación ciudadana en programas enfocados a mitigar el deterioro del medio ambiente. La finalidad última es que la población no solo entienda conceptos relacionados con el cuidado del medio ambiente, sino que los ponga en práctica durante sus actividades cotidianas.

Palabras Clave: Reciclado de residuos sólidos, Clasificación, Separación, Educación ambiental, Actividades lúdico-creativas.

1. Introducción

La cantidad de plásticos desechados es cada vez mayor, y cuando no se ponen en práctica políticas y programas para acopiarlos y destinarlos a sitios de disposición final para su correcto manejo el resultado es, en el menos severo de los casos, contaminación de la imagen urbana. Peor aún es el grave daño que causa al ambiente, provocando la aparición de fauna nociva como plagas de insectos que viven en el agua acumulada en recipientes y objetos en desuso, y por la emisión de gases nocivos cuando se incineran sin los cuidados necesarios, entre muchos otros. En cuanto a la generación de residuos sólidos en general, solamente en el Estado de Yucatán se reportó que en el 2011 se producían aproximadamente 1500 ton/día (la mitad en la Ciudad de Mérida); y que de esa cantidad, aproximadamente 39 ton/día correspondían a objetos de polietileno de alta densidad (HDPE) [1]. Lo grave del asunto, es que gran cantidad no se aprovecha, y terminan en el relleno sanitario; o peor aún, en tiraderos a cielo abierto, sitios clandestinos, o en las mismas calles de las poblaciones del Estado. La complejidad de este problema en nuestro país se agrava por el hecho de que en la mayoría de las poblaciones Mexicanas, buena parte de la comunidad no está enterada de la existencia de los diferentes tipos de plásticos que se producen y se desechan, dificultando su reciclado. Por lo tanto, es primordial llevar a cabo acciones para contribuir a solucionar este problema. Una de tantas opciones es encontrar un uso adecuado para este tipo de residuos en la creación de nuevos materiales con aplicaciones prácticas, lo cual propicia la innovación para desarrollar tecnología enfocada a la obtención de materiales y productos alternativos, proporcionándole valor a los residuos de manera que no se visualicen como basura inservible. Por ejemplo, se ha reportado el uso de materiales plásticos cargados

con rellenos lignocelulósicos (p. ej., los residuos de madera) [2, 3] debido a los beneficios que este tipo de relleno aporta en cuanto a rigidez, resistencia mecánica y bajo peso, entre otros. Esto contribuye a disminuir el deterioro del medio ambiente al emplear menos materia prima virgen (p. ej., el uso de residuos lignocelulósicos, contribuye a disminuir la tala inmoderada de árboles); y a disminuir el uso de materia prima no renovable (p. ej., los plásticos). De igual forma, es importante realizar estudios de generación y composición de residuos sólidos para poder desarrollar planes estratégicos para llevar a cabo una gestión adecuada de residuos sólidos [4]. Otra opción que se cree viable y efectiva es apoyarse en el arte para plantear estrategias educativas lúdico-creativas que permitan transmitir el conocimiento científico y técnico relacionado con el reciclado de residuos sólidos y los beneficios asociados con éste. Al respecto, es necesario entender que aun cuando las disciplinas artísticas y científicas se perciben como campos del saber diferentes, éstos no son sólo complementarios sino que tienen un enorme potencial para hacer sinergias sobre todo en los procesos de aprendizaje creativo. La ciencia y el arte se pueden integrar para transformar el entendimiento, incrementar la motivación y desarrollar nuevas intuiciones (percepciones) y nuevos conocimientos para contribuir a la construcción de una resiliencia social y ecológica; basta con consultar algunos trabajos reportados sobre el tema [5-8]. Dichas estrategias, muchas de ellas apoyadas con actividades artísticas (conversatorios, plataformas móviles, micrófono/proyector abierto, etc.), tienen el potencial de fomentar el cuidado del medio ambiente mediante la participación ciudadana en actividades que generen curiosidad y entusiasmo en un público que prefiera involucrarse más como cómplice de una acción o movimiento, en lugar de actuar simplemente como espectador pasivo.

2. Metodología/Desarrollo

2.1 Acopio y clasificación de HDPE

Se convocó a la comunidad del Centro de Investigación Científica de Yucatán, CICY (Mérida, México) a depositar objetos de HDPE en un contenedor diseñado específicamente para este fin; situado a la vista y de fácil acceso a los empleados de este Centro. La convocatoria se realizó a través del boletín electrónico Institucional de circulación interna. Para saber si el objeto a depositar en el contenedor era de HDPE se indicó que se identificara en él el número 2, ubicado en el interior del clásico signo de reciclado (triángulo de flechas en seguimiento). Para apoyar esta campaña se usaron carteles electrónicos descriptivos con imágenes, fotos y figuras que se hicieron circular a través del boletín electrónico; así como carteles impresos que se fijaron en sitios estratégicos de la Institución. En ellos se solicitó que los objetos estuvieran lo más limpio posible, en el momento de depositarlos en el contenedor, y que en el caso de que se tratara de envases, estos se lavaran, drenaran y compactaran. Los carteles incluyeron imágenes que ejemplificaban que tipos de objetos y envases normalmente están hechos con HDPE. Todos los objetos depositados en el contenedor fueron recolectados durante 29 semanas. Durante este período, cada semana se pesó el material depositado, y se registró cuanto correspondió a HDPE. Todos los materiales acopiados se limpiaron de impurezas, se les retiraron etiquetas, y se identificaron aquellos que eran de HDPE y los que no lo eran; y se cortaron en trozos pequeños y se pesaron.

2.2 Obtención de compuestos termoplásticos con HDPE reciclado y residuos de madera

Estos materiales se obtuvieron meramente para ejemplificar los beneficios de la puesta en práctica de programas de reciclado. A continuación se presenta a grandes rasgos la metodología empleada.

Materias primas:

- Polietileno de alta densidad reciclado surtido por una empresa local (Mérida, México). Este material consiste en hojuelas que se obtuvieron de la molienda de tarimas fabricadas con HDPE grado inyección.
- Viruta de madera de pino proporcionada por MADERAS BAJCE, S.A. DE C.V. (Mérida, Yucatán).
- Agente compatibilizante (Polybond 3009), adquirido de BRENNTAG MEXICO S.A DE C.V.

- Ayuda de proceso (Struktol TPW 113), adquirido de Struktol Company of America.

Secado de los residuos de madera:

La viruta de madera de pino se colocó en bandejas de aluminio, y se introdujo en un horno de convección forzada para eliminarle el exceso de humedad. La temperatura y tiempo de secado fueron alrededor de 70°C y 24 horas, respectivamente.

Reducción del tamaño de partícula:

El HDPE reciclado y la viruta de madera de pino previamente secada se molieron en un molino de laboratorio marca Brabender, empleando una criba de 1 mm. Después de la molienda, el polvo de madera de pino fue tamizado por 5 minutos en un tamizador ROTAP (W.S. Tyler, Incorporated) modelo RX-29, utilizando mallas 30 y 40 (Figura 5). Se empleó el material que pasó la malla 30 que fue retenido en la malla 40.

Preparación de la mezcla HDPE reciclado/residuos de madera:

Se preparó una mezcla en seco con el HDPE previamente molido y los residuos de madera tamizados, utilizando una mezcladora con un álabe tipo cinta helicoidal marca Intertécnica. La relación en peso HDPE/residuos lignocelulósicos fue 60/40. Datos sobre la composición de la mezcla se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de la mezcla para un lote de 800 g

Material	Cantidad (g)	Porcentaje
Residuos de madera	301.84	37.73
HDPE reciclado	452.80	56.60
Polybond (agente acoplante)	15.20	1.90
Struktol TPW 113 (ayuda de proceso)	30.16	3.77

El mezclado se realizó durante 15 minutos de acuerdo a la siguiente secuencia:

1. Los residuos de madera de pino y el Struktol son mezclados durante 5 min.
2. Después se agrega el Polybond y se mezcla durante otros 5 min.
3. Por último se añade el HDPE reciclado y se mezcla por 5 min más.

La mezcla final se coloca en una charola de aluminio y se mete a secar en el horno de convección forzada a 70°C, durante 24 horas, para eliminar el exceso de humedad.

Procesamiento por extrusión:

La mezcla antes preparada se procesó en un extrusor mono-husillo de laboratorio marca Brabender (modelo 2503) con 3 zonas de calentamiento. Se acopló a la salida del extrusor una boquilla cilíndrica de extrusión con diámetro interno de 5 mm para obtener el material compuesto en forma de cordón. Las temperaturas de procesamiento fueron 160°C en la zona de alimentación del extrusor, 165°C en la segunda y tercera zonas de calentamiento, y 150°C en el cabezal de la boquilla de extrusión. La velocidad de rotación del husillo fue de 30 rpm. El cordón de material compuesto obtenido se trozó en pellets utilizando una máquina pelletizadora de laboratorio marca Brabender, modelo 12-72-000.

Obtención de laminados:

Se obtuvieron laminados del material compuesto HDPE-Residuos de madera de pino de 2.4 cm de espesor, 28 cm de ancho y 48 cm de largo, mediante moldeo por compresión. Para esto se usó aproximadamente 3 kg de los pellets obtenidos por extrusión. La temperatura de moldeo fue 200°C y la presión de compresión 100 psi. El procedimiento fue el siguiente:

- Se envolvió la base y la tapa del molde de acero inoxidable de 45 cm de largo, 28 cm de ancho y 5cm de espesor, con papel aluminio.
- Se aplicó desmoldante de silicón al marco, base y tapa del molde, y se dejó secar durante 15 minutos.
- Se depositaron y distribuyeron homogéneamente los pellets del material compuesto en toda la cavidad del molde, y luego se le colocó la tapa.
- Se colocó el molde cerrado con los pellets entre los platos de la prensa, los cuales se cerraron hasta hacer contacto con la tapa del molde, aplicando una fuerza de compresión tal que permitiera alcanzar 100 psi de presión constante.
- Se programó el calentamiento de los platos de la prensa hasta alcanzar 200°C. Esta temperatura se alcanzó en aproximadamente 1 h.
- Se mantuvieron cerrados los platos de la prensa a temperatura y presión constante durante 30 minutos.
- Se programó el enfriamiento hasta temperatura ambiente, manteniendo la presión constante. Esto tomó 1 h.
- Se retiró el molde de la prensa, se desmoldó el laminado formado y se le cortaron las rebabas de los bordes.
- Finalmente, se cortaron muestras de 3 x 4 pulgadas para estimar la resistencia a la extracción de tornillo, y de 3 x 6 pulgadas para la extracción de clavo. El procedimiento es el reportado por Rivero-Be y colaboradores [9].

2.3 Planteamiento de estrategias educativas lúdico-creativas

Definición de conceptos fundamentales:

Se realizaron reuniones de trabajo con especialistas en temas relacionados con el reciclado de residuos sólidos para unificar criterios para establecer un punto de partida para el planteamiento de estrategias. Se contó con el apoyo de estudiantes de artes visuales, quienes presentaron los resultados de su investigación sobre conceptos tales como “entorno saludable, medio ambiente saludable”. El objetivo fue identificar qué aspectos de las investigaciones relacionadas con el reciclado pueden abordarse y plantearse de una manera fácil de asimilar por la población en general. Es decir, que problemas ambientales, priorizados por frecuencia, importancia y urgencia se pueden abordar y solucionar.

Participación de artistas para establecer la relación ciencia-arte-creatividad:

Artistas egresados de la Escuela Nacional de Pintura, Escultura y Grabado “La Esmeralda”, del INBA impartieron un seminario, un taller y se entrevistaron con investigadores cuyos proyectos tienen potencial de ser incluidos en el planteamiento estrategias lúdico-creativas.

Impartición de un seminario y un taller por los artistas:

En general el objetivo fue crear conciencia en la comunidad académica del CICY sobre la importancia que tiene la colaboración multidisciplinaria para dar solución a problemas, revisando y replanteando los métodos que se emplean, haciendo énfasis en potenciar al máximo nuestra creatividad para lograr el objetivo. En el caso particular de este trabajo, se busca contribuir a solucionar problemas de actualidad relacionados con el cuidado del medio ambiente que aquejan nuestro entorno más cercano. Se buscó obtener un mayor

entendimiento en la articulación de los siguientes elementos conceptuales: Ciencia, arte y educación ambiental.

Propuesta de estrategia:

Se propuso el diseño de una plataforma móvil para acercar la ciencia a diferentes sectores de la sociedad más allá de los límites físicos del CICY. Para ello se planteó reparar y adecuar un remolque en desuso. Se comenzó a trabajar sobre aspectos a considerar en el diseño de la plataforma y en la estrategia de comunicación: imagen, mantenimiento, programa de demostraciones itinerantes, etc.; y se propuso acondicionarlo con materiales reciclados.

Preselección de temas a desarrollar:

Se propuso diseñar e impartir talleres tales como la aplicación del concepto de las 3Rs, con el taller con título tentativo “Mercado de trueque y diseño de prendas de vestir con materiales de reciclaje”. La idea es diseñar los talleres incluyendo una breve descripción del mismo, objetivos, grupo meta a quien va dirigido, metodología, materiales, reflexión, cierre del taller, así como proporcionar bibliografía relacionada con el tema.

3. Resultados y discusión

3.1 Acopio y clasificación de HDPE

En la recolección se obtuvo que más del 60% (Tabla 2) de todo el material recaudado semanalmente fue de HDPE. Se obtuvo un total de 61426.8 g de material en el contenedor, del cual se obtuvieron 41645.7 g (67.79%) de HDPE y el resto fue material diferente. En la Tabla 2 se observa que el acopio fue siempre menor a 5 kilos de material en cada semana de recolección, y que después de varias semanas, existe una ligera tendencia a la baja, es decir, se recolectan menos objetos conforme transcurre el tiempo. Esta tendencia no fue observada en las semanas 7, 11, 16, 20 y 26. Se observa que en casi todas las semanas de recolección fue mayor la cantidad de HDPE que de otros plásticos, y que durante todas esas semanas se recolectó más del 60% de este material. Sin embargo, llama la atención que en esas semanas fue mayor la cantidad recolectada de plásticos diferentes al HDPE.

La grafica de la Figura 1 hace suponer que, específicamente en lo que se refiere a HDPE, la comunidad aún no sabe distinguir con certeza de que tipo de plástico está hecho un objeto, aun cuando la mayoría de los depositados en el contenedor tenían el signo del HDPE. Otra hipótesis que se puede establecer es que, aun teniendo el conocimiento de que la mayoría de los objetos de plástico se clasifican mediante este signo, la comunidad no tiene el cuidado de fijarse cuál es. Esto fue más evidente en las semanas mencionadas con anterioridad en las que se recolectaron mucho más objetos fabricados con plásticos diferentes al HDPE, aun cuando en el contenedor se indica qué tipo de plástico debe depositarse en él y como identificarlo. De todo el material de HDPE se notó que un 50% de los objetos fueron botes envases de yogurt, un 25% envases de leche, 10% de botes de jugos, 10% de envases para líquidos de limpieza y desinfectantes y un 5% de envases de medicamentos. También se observó que al inicio de la recolección se depositaban botes limpios sin materiales extraños, pero conforme fue avanzando el tiempo, se estuvieron depositando botes sin enjuagar, sucios y con mal olor. Esto puede significar dos cosas: 1.- la comunidad no está muy consiente sobre aspectos de separación y clasificación de plásticos y, 2.- deben reforzarse las campañas de educación para tal fin.

Tabla 2. Relación de material recolectado semanalmente

Semana	Total de material acopiado (g)	HDPE sin etiquetas (g)	% de HDPE respecto al total
1	2572.4	2225.8	86.53
2	2462.0	1521.6	61.80
3	4036.8	3255.4	80.64
4	2935.6	2335.0	79.54
5	2348.0	784.0	33.39
6	2967.2	2484.4	83.73
7	1991.8	1722.8	86.49
8	1137.6	730.8	64.24
9	911.4	626.4	68.73
10	1085.0	905.4	83.45
11	4464.2	926.2	20.75
12	1542.2	1251.4	81.14
13	821.2	648.6	78.98
14	2038.8	1515.6	74.36
15	1740.2	1332.4	76.56
16	501.4	269.6	53.76
17	1617.2	1159.6	71.70
18	1380.2	1216.8	88.16
19	926.2	830.6	89.67
20	3875.6	1446.4	37.32
21	349.4	233.2	66.74
22	2322.0	1694.8	72.98
23	1568.4	1238.6	78.93
24	3133.8	2394.9	76.42
25	2542.0	1823.8	71.74
26	3531.4	2034.4	57.60
27	1307.2	1031.6	78.91
28	2667.0	2105.0	78.92
29	2650.6	1900.6	71.70
TOTAL	61426.8	41645.7	67.79

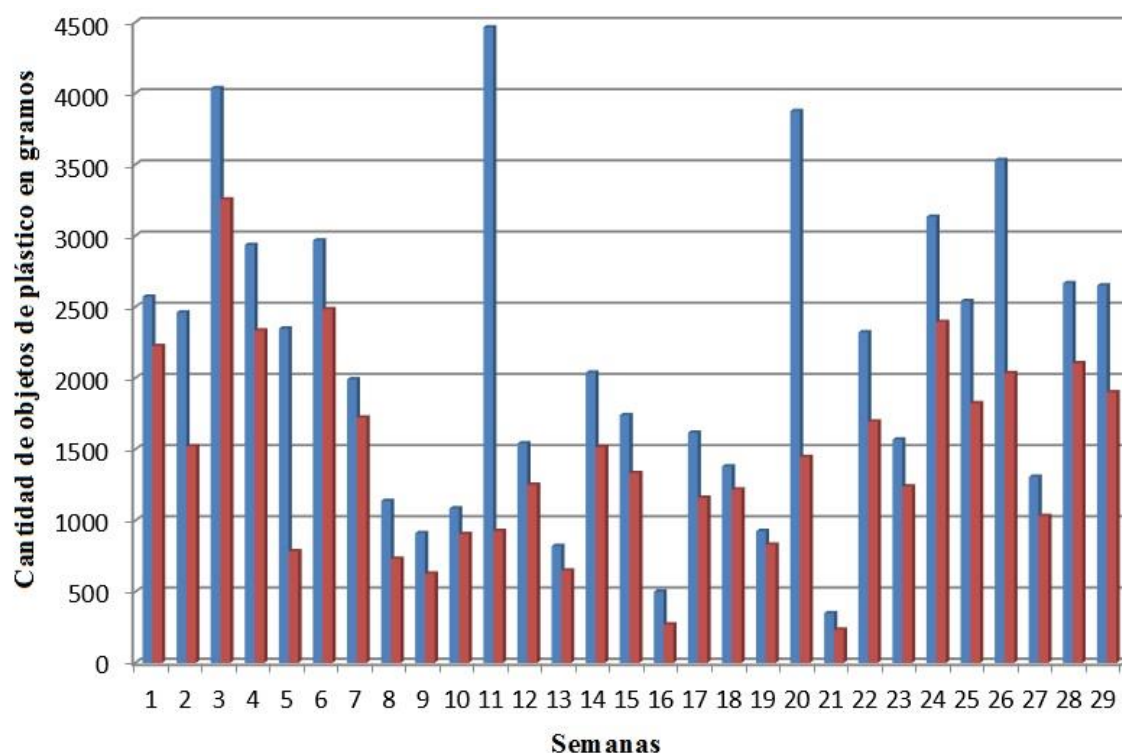


Figura 1. Recolección semanal de objetos de plástico en gramos. Total de material recolectado (color azul), objetos de HDPE (color rojo)

3.2 Obtención de compuestos termoplásticos con HDPE reciclado y residuos de madera

Los laminados obtenidos (Figura 2) pueden procesarse como la madera, es decir, se pueden cortar, atornillar y clavar.



Figura 2. Laminados obtenidos del material reciclado

Estudios previos [9] reportaron un análisis comparativo de la resistencia a la extracción de clavo y tornillo de estos materiales (elaborados con diferentes tamaños de partícula de los residuos de madera) con la de un aglomerado comercial, elaborado con fibras de madera aglutinada con resina sintética (tablero de MDF). Los resultados del estudio indicaron que la resistencia a la extracción de tornillo de los materiales compuestos fue mayor que la del MDF. Sin embargo, lo contrario sucedió con la resistencia a la extracción

de clavo. Aun así, estos materiales compuestos tienen potencial de usarse como elementos constructivos, haciendo los ajustes necesarios para mejorar su desempeño mecánico. Es evidente que es necesario realizar mayor experimentación para analizar cómo se comparan estos materiales con materiales convencionales bajo otros modos de esfuerzo mecánico, además de otros análisis como resistencia a la humedad, ataque de microorganismos, radiación UV, etc.

3.3 Planteamiento de estrategias educativas lúdico-creativas

Se obtuvieron bocetos para ejemplificar la adecuación del remolque en desuso que pudiera servir para estas actividades (Figura 3).



Figura 3. Propuesta de creación de una plataforma móvil para actividades lúdico-creativas itinerantes

El taller “Mercado de trueque y diseño de prendas de vestir con materiales de reciclaje” consistiría en fomentar el consumo sustentable a través del aprendizaje, el diseño, el reciclaje y reutilización de objetos, no solo plásticos, sino textiles. Como un plus, se aprovecharía esta actividad para dar a conocer otros conceptos, como el de huella hídrica, señalando que este indicador ambiental busca evaluar el nivel de apropiación e impacto sobre los recursos hídricos que requiere la producción de un bien o la prestación de un servicio a lo largo de toda su cadena de producción, incluyendo la de las materias primas y los insumos. Como ejemplo se tratarán aspectos del impacto provocado por el consumo irracional de productos plásticos y prendas de vestir nuevas. Por ejemplo, la adquisición de una camiseta de algodón equivale a usar 2,700 litros de agua para su producción. Uno de los objetivos es reflexionar sobre cuánta agua se necesita para producir cualquier material fabricado por el hombre. Por último, como se ha mencionado, se buscará generar vínculos entre los habitantes de la comunidad a partir de su participación en las actividades.

4. Conclusiones

La comunidad respondió favorablemente a la campaña de recolección y reciclado de polietileno de alta densidad, obteniéndose cantidades acordes al tamaño del contenedor cada semana. Durante todo el periodo de recolección solo en 5 semanas se obtuvieron cantidades mayores de otros plásticos diferentes al HDPE.

Sin embargo, se cree que la comunidad no está muy consiente sobre aspectos de separación y clasificación de plásticos, y que deben reforzarse las campañas de educación para tal fin.

Se logró elaborar un laminado de material compuesto con polietileno de alta densidad reciclado y residuos de madera de pino, que puede contribuir al proceso de recuperación y reutilización de residuos sólidos. Además, puede ayudar a la comunidad a no seguir contaminando con estos desechos. Los laminados se fabricaron con parámetros de procesamiento específicos, para que tuvieran buenas propiedades para su posible utilización como muros y/o paredes falsas, o de alguna otra forma, en la industria de la construcción.

Se plantearon estrategias que involucran actividades educativas lúdico-creativas apoyadas en el arte para crear consciencia y motivar la participación ciudadana en programas enfocados al reciclado de plásticos, y en general al reciclado de residuos sólidos.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero al Fondo Mixto CONACyT-Gobierno del Estado de Yucatán para realizar este trabajo a través del proyecto 107327, “Desarrollo de una vivienda ecológica autosustentable”; y a la Dirección de Investigación del Centro de Investigación Científica de Yucatán, a través del proyecto 1041500006, “Fortalecimiento de la apropiabilidad y puesta en práctica de conceptos en materia de educación ambiental por los habitantes de la Cd. de Mérida, Yucatán para fomentar el cuidado del medio ambiente”. De igual forma, se agradece la valiosa colaboración de las siguientes personas en el planteamiento de estrategias lúdico-creativas: Sandra Cesilia Rubio González, Edwin Manuel Aguilar, Pedro Horacio Calderas Patiño, Fabiola Fragoso, Erika Fredelle Hernández, Carla Lamoyi y Antonio Olivas Medina.

Referencias

- [1] Rivero Be, O.E. (2012) *Estudio de la situación actual sobre la disposición de desechos de madera y plásticos reciclados en Yucatán, y obtención de materiales a nivel laboratorio a partir de estos tipos de desechos*, Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico Superior del Sur del Estado de Yucatán. Oxkutzcab, Yucatán, México.
- [2] Cruz-Estrada, R.H, Martínez-Tapia, G.E., Canché-Escamilla, G., González-Chí, P.I., Martín-Barrera, C., Duarte-Aranda, S., Guillén-Mallete, J., Cupul-Manzano, C.V., Martínez-Domínguez, O., and García-Gómez, C. (2010) A preliminary study on the preparation of wood-plastic composites from urban wastes generated in Merida, Mexico with potential applications as building materials. *Waste Management & Research*, 28(9), 838-847. doi:10.1177/0734242X09350059.
- [3] Cruz-Estrada, R.H., Fuentes-Carrillo, P., Martínez-Domínguez, O., Canché-Escamilla, G., and García-Gómez, C. (2006) Obtención de materiales compuestos a base de desechos vegetales y polietileno de alta densidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5(1), 29-34. <http://rmiq.org/new%20page/Pdfs/Vol.%205,%20Supl.%201/6.pdf>.
- [4] Castillo-González, E., and De Medina-Salas, L. (2014) Generación y composición de residuos sólidos domésticos en localidades urbanas pequeñas en el estado de Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(1), 81-90. <http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/40466/40215>.
- [5] Scheffer, M., Bascompte, J., Bjordam, T.K., Carpenter, S.R., Clarke, L.B., Folke, C., Marquet, P., Mazzeo, N., Meerhoff, M., Sala, O., and Westley, F.R. (2015) Dual thinking for scientists. *Ecology and Society*, 20(2), 1-4. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07434-200203>.
- [6] Thomsen, D.C. (2015) Seeing is questioning: prompting sustainability discourses through an evocative visual agenda. *Ecology and Society*, 20(4), 1-9. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07925-200409>.
- [7] Österblom, H., Scheffer, M., Westley, F.R., van Esso, M.L., Miller, J., and Bascompte, J. (2015) A message from magic to science: seeing how the brain can be tricked may strengthen our thinking. *Ecology and Society*, 20(4), 1-4. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07943-200416>.

- [8] Fernández-Giménez, M.E. (2015) A shepherd has to invent: Poetic analysis of social-ecological change in the cultural landscape of the central Spanish Pyrenees. *Ecology and Society*, 20(4), 1-14. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-08054-200429>.
- [9] Rivero-Be, O.E., Cruz-Estrada, R.H., Cupul-Manzano, C.V., Carrillo-Baeza, J.G., and Pérez-Pacheco, E. (2014) Pinewood residues/recycled HDPE composites to substitute medium density fiberboards: Mechanical properties evaluation. *Conference Proceedings of Third US-Mexico Meeting and XXX SPM National Meeting (MACROMEX 2014)*, Nuevo Vallarta, Mexico, pp. 1-5.

Educación ambiental, para la concientización del manejo de los residuos sólidos y relleno sanitario

Eduardo Salvador López Hernández¹ Ana Rosa Rodríguez Luna¹ Juana García Hernández¹
Ana Flores Ibarra²

1. Cuerpo Académico de Educación Ambiental, Cultura y Sustentabilidad. División Académica de Ciencias Biológicas.
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km 0.5 carr. Villahermosa-Cárdenas entronque a Bosques de Saloya. C.P. 86039
Villahermosa, Centro Tabasco. 52 (993) 3544308 2. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara. E-mail:
eduardos.lopezh@gmail.com

Resumen

Uno de los problemas ambientales en la ciudad de Villahermosa, es la disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos, que anteriormente terminaban en un tiradero a cielo abierto lo que ocasionaba contaminación atmosférica por la quema elevada. Ante tal circunstancia se construyó un Relleno Sanitario en otra zona, sin embargo, esto ha provocado desagrado en los habitantes de las comunidades cercanas a su ubicación; ya que al ignorar su funcionamiento creen les ocasionará problemas. Mediante encuestas se obtuvo un análisis de los aspectos socio ambientales y en base a ello, se identificaron problemáticas respecto a los residuos sólidos urbanos. A partir de los resultados, se diseñó un programa de intervenciones de educación ambiental acerca del manejo y disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos y el funcionamiento correcto de un Relleno Sanitario, lo cual nos ayuda a contribuir con elementos esenciales en la sensibilización de la sociedad y a favor del ambiente.

Palabras Clave. Educación Ambiental, Relleno Sanitario, Residuos Sólidos Urbanos, Sustentabilidad.

1. Introducción

El problema de los residuos se viene aumentando como consecuencia del acelerado crecimiento demográfico, con la conciencia de que el desarrollo económico no siempre ha traído beneficios para el conjunto de la humanidad, sino que en muchas ocasiones ha desencadenado alteraciones ecológicas de graves consecuencias. En las últimas décadas de nuestra historia, advertimos un cambio profundo en la percepción de las relaciones entre sociedad y naturaleza [1].

La ciudad de Villahermosa, es la de mayor importancia en todo el estado de Tabasco; en los últimos años se ha incrementado de manera significativa su crecimiento poblacional, económico y en estructura, que por lo tanto, se ha generado un consumo muy elevado de sus recursos naturales, lo que genera al día un volumen muy grande de residuos.

Una de las actividades que ha causado un problema ambiental grave, es la disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), que como sabemos, son los que se generan en las casas habitación, resultantes de la eliminación de materiales que se utilizan en actividades domésticas y provenientes de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias [2]. Debido a que su anterior disposición final era un vertedero a cielo abierto que ocasionaba malos olores, animales de rapiña, infecciones, y cuando este se quemaba la contaminación atmosférica que provocaba era muy elevada.

Ante circunstancias como estas se construyen los Rellenos Sanitarios (RS), que se define como un método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos en el suelo, de tal manera que proteja el ambiente, mediante el extendido de los residuos en capas delgadas, compactándolas al menor volumen posible y cubriéndolas con tierra al término de cada día de trabajo [3].

La empresa Promotora Ambiental S.A. de C.V. (PASA) opera un RS cercano a las comunidades de Alvarado Colima y Alvarado Guarda Costa del municipio de Centro, donde sus habitantes se encuentran inconformes con la operación de éste, puesto que piensan que es insalubre y que les ocasionaría un problema como sociedad, cabe mencionar que se han realizado manifestaciones en la búsqueda de desalojo de la empresa de la zona. Problemática que atiende a sensibilizar y aplicar estrategias educativas a través de un Programa de intervenciones de Educación Ambiental para el Desarrollo Humano Sustentable, enfocado al funcionamiento del Relleno Sanitario.

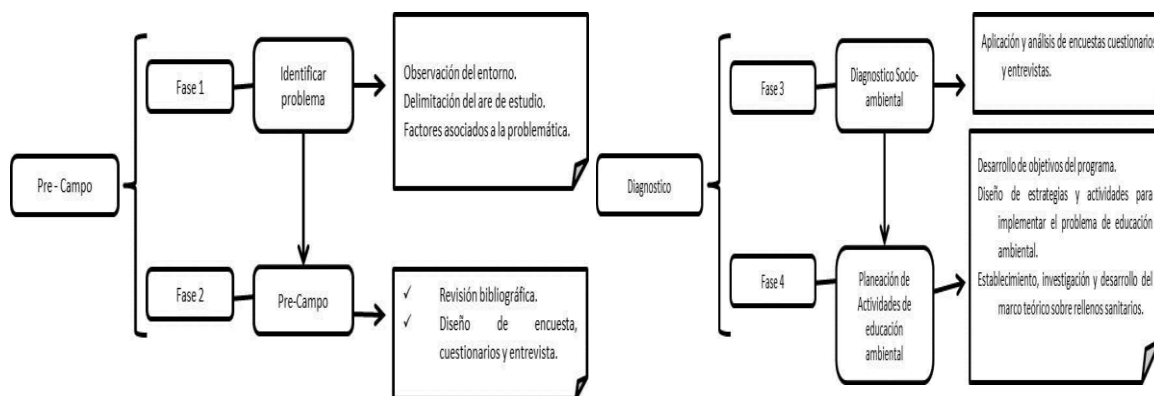
Este modelo se realizó por el Cuerpo Académico de Educación Ambiental Cultura y Sustentabilidad de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco con la colaboración de la Promotora Ambiental S.A.; empresa que lleva a cabo los trabajos que se realizan en el Relleno Sanitario.

El propósito fue realizar y llevar a cabo un programa de educación ambiental para el manejo de residuos sólidos urbanos para un relleno sanitario en la comunidad de Alvarado, municipio del centro, Tabasco, y como objetivos particulares:

- Fortalecer el conocimiento de los habitantes de un relleno sanitario.
- Promover el manejo sustentable de los residuos sólidos urbanos.
- Transmitir el manejo sustentable de residuos sólidos urbanos y su disposición final en rellenos sanitarios.

2. Metodología

En este proyecto se utilizó la metodología de investigación basada en conceptos de educación ambiental sobre la difusión del manejo de residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios del estado de Tabasco [4] - [6], que se sintetiza en la figura 1.



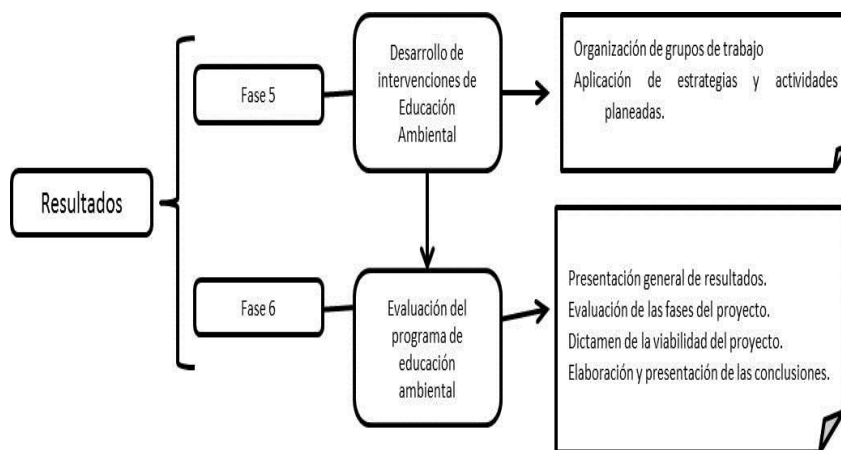


Figura. 1. Etapas del proceso metodológico de educación ambiental.

Fuente: Adaptado de López Hernández, 2000 y 2003.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos de las encuestas, se diseñaron las intervenciones de Educación Ambiental sobre residuos sólidos urbanos y relleno sanitario, bajo el marco referencial de documentos oficiales como: *Agenda 21 de Río+20*, *Ley Nacional de Residuos Sólidos*, *manual de manejo de residuos*, *programa estatal de Cambio Climático*, entre otros.

El desarrollo de las intervenciones de Educación Ambiental y posteriormente la evaluación de las mismas, se realizó en las escuelas primarias de las comunidades Alvarado Colima y Alvarado Guarda Costa. Cabe mencionar que estas escuelas son de tipo multigrado, debido a la poca población que habita en ellas.

3. Resultados y Discusión

El municipio de Centro cuenta con 664,629 habitantes, de los cuales 558,524 pertenecen a la zona urbana y 178,700 a la rural. Es el municipio de más poblado de Tabasco, debido a que es el centro político y económico, siendo este la capital del estado; lo que provoca un gran crecimiento y concentración demográfica [6].

La localidad de Alvarado (Colima y Guarda Costa), están situadas en el municipio de Centro y tiene 207 habitantes y está a 30 metros de altitud. Figura 2.

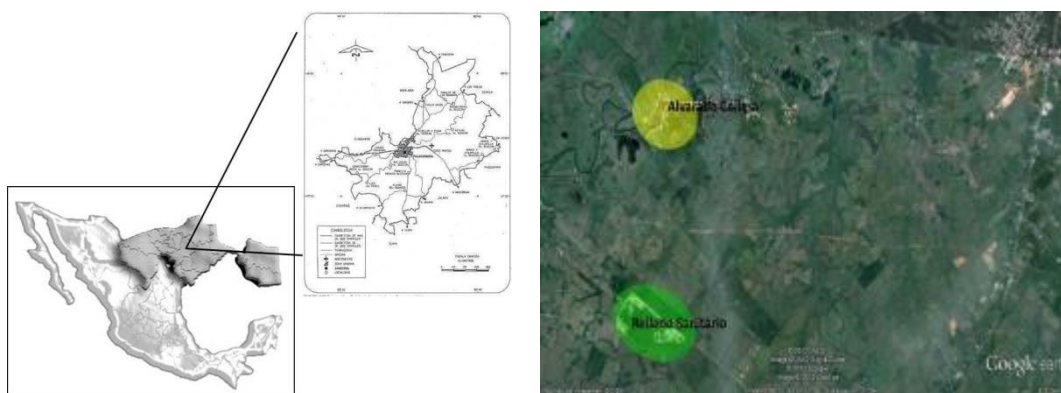


Figura 2. Ubicación del Relleno Sanitario operado por Promotora ambiental SA de CV y la comunidad Alvarado Colima en el Municipio de Centro, Tabasco. Fuentes: INEGI. (2012). Imagen Google (2011).

3.1 Problemas Ambientales

En base a los resultados del estudio socio-ambiental, la mayoría de la población está conformada por mujeres correspondientes a un 84%, mientras que restante 16% corresponde a los hombres. Cabe mencionar que tanto la población joven (25 a 35 años) como adulta (mayor a 45 años) tienen un equivalente del 28%, porcentaje que corresponde al 56% del total y en su nivel de estudios la mayoría estudio hasta el nivel medio superior.

Estas comunidades cuentan con la mayoría de los servicios públicos como alumbrado público, servicio médico que llega una vez a la semana, agua potable, drenaje y la pavimentación que se encuentra en proceso, el servicio de recolección de limpia que no es muy frecuente.

En lo que concierne a los problemas ambientales, lo que más afectan a estas comunidades es el mal servicio de recolección de basura (cada 15 días o más) ocasionando que las población acumulen sus residuos y por lo tanto recurren a quemarlos o deshacerse de ellos en el río o tiraderos abiertos, a pesar de ubicarse cerca del relleno sanitario. Los resultados de las figuras 3A y 3B reflejaron que hay una mala disposición final de los RSU donde el 59% queman los residuos, la vierten a cuerpos de agua (28%) o tiran en cualquier terreno. El 92% manifestó que el relleno sanitario afecta a su comunidad contaminando sus recursos con residuos, sin embargo, se sabe que existe desconocimiento acerca del funcionamiento este sistema.

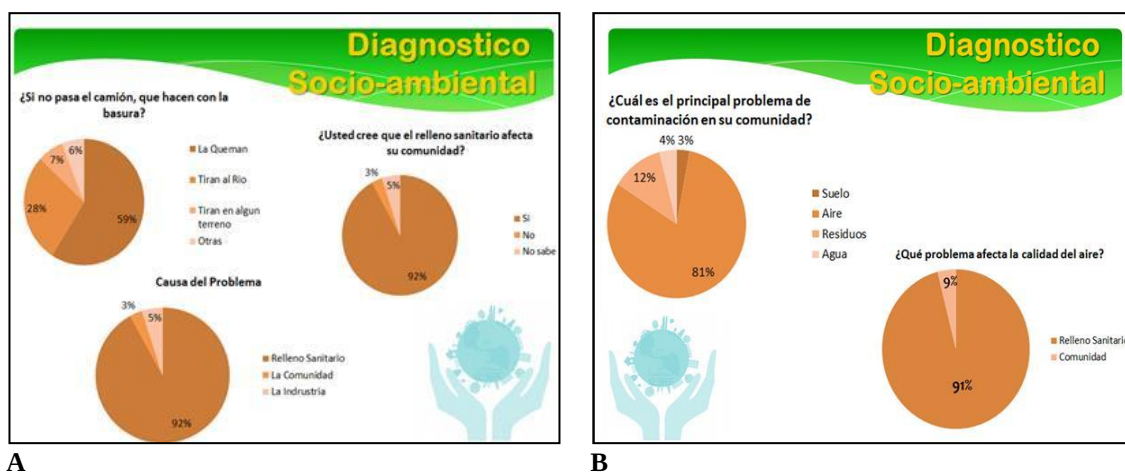


Figura. 3. Resultados de los indicadores del diagnóstico socioambiental. A. Problemas con los RSU y el RS; B. Contaminación en la comunidad.

Los habitantes de la comunidad se quejan de contaminación del aire el cual se debe a supuestos malos olores emitidos por el relleno, al relacionar este problema con este relleno sanitario hay insatisfacción de que se haya construido cerca su poblado. Consideran que afecta su vida cotidiana y acarrea problemas de salud, animales nocivos (moscas, ratas, otros) y emanación de fuertes olores ante las altas temperaturas y las lluvias.

En base a lo anterior, se elaboró un programa de intervenciones de educación ambiental para la concientización del manejo de los residuos sólidos urbanos y rellenos sanitario. En la tabla 1, se describe los temas y propósitos de las intervenciones las cuales se realizaron en el interior del relleno con trabajadores de la empresa PASA y se extendió a habitantes de las comunidades y escuelas (directores, maestros, alumnos).

Tabla 1. Programa de intervenciones de educación ambiental sobre RSU y RS.

ACTIVIDAD	OBJETIVO
Mi planeta y yo	Aprender conceptos ecológicos y ambientales para conocer la importancia del ambiente.
Problemas ambientales: Contaminación	Conocer los problemas ambientales y los tipos de contaminación que sufre nuestro planeta.
¿Qué son los RSU? Características, manejo y disposición final	Identificar las características, manejo, repercusiones, clasificación y disposición final de los RSU.
Mi comunidad y yo	Identificar y valorar la naturaleza que los rodea.
Problemas ambientales en mi comunidad	Identificar que problemas ambientales tienen en su comunidad.
Aprendiendo a Reducir, Reciclar, Reutilizar y Reusar	Aprender la importancia del uso de las 4R y como comenzar desde nuestro hogar.
Salud ambiental	Conocer la relación que existe entre salud y el ambiente: un ambiente limpio es igual a buena calidad de vida.
¿Relleno Sanitario? Qué es, cómo funciona y beneficios	Identificar las características, funciones, beneficios y ventajas de un Relleno Sanitario.

Se realizó un acercamiento a las Escuelas Primarias Benito Juárez (escuela multigrado) y Miguel Hidalgo para plantear la finalidad de trabajar con los alumnos y docentes, sensibilizarlos acerca de la problemática en la comunidad y así impartir las intervenciones educativas. La distribución de las intervenciones se realizó dos días a la semana. En la figura 4, se muestran el diseño del material didáctico del tema: Residuos Sólidos Urbanos.



Figura. 4. Ejemplo del contenido didáctico de la intervención sobre los RSU.

Las estrategias didácticas utilizadas en la sesión de RSU, se realizó a través de explicaciones acerca de los tipos, su manejo y disposición correcta, se elaboraron listas de RSU generados en casas y escuelas. Los alumnos expusieron sus listas y dialogaron acerca de lo que hacen con la “basura” en sus hogares y la mala disposición que les dan (quemarlos, tirarlos al río y enterrarlos). Se pudo advertir el cambio de los niños al admitir que no era correcta la disposición que se hace en sus domicilios y el desconocimiento de la diversidad de residuos.

En el tema del Relleno Sanitario ¿qué es, cómo funciona y beneficios? que muestra la figura 5, se muestra el material didáctico utilizado, se identificaron las características, funciones, beneficios y ventajas. A los alumnos se les recomendó hacer con su familia preguntas acerca del relleno sanitario, de lo cual se pudo ver que el desconocimiento familiar solo confirmó las opiniones negativas. Con el apoyo de diaporamas se explicó la función y diferencia de un relleno con un tiradero a cielo abierto y los beneficios que tiene para el ambiente. Se proyectó un video proporcionado por la empresa PASA donde observaron cómo funciona y como es un relleno. Al finalizar la proyección se les pidió su opinión, incidiendo que nunca les habían explicado cómo era y cómo funcionaba. El aprendizaje fue favorable, de manera que se elaboraron periódico murales que se pegaron dentro y fuera de las instalaciones las escuelas y de esta forma los padres de familia y otras personas conocerían la verdadera función del RS.



Figura. 5. Contenido didáctico de la intervención sobre el Relleno Sanitario.

Las capacidades que genera la educación ambiental permiten analizar críticamente el entorno socioambiental y facilitar la participación ciudadana (en este caso, mediante las escuelas) para enfrentar los problemas con responsabilidad. La intervención educativa en la comunidad Alvarado Colima ha avanzado en la concienciación de los diversos problemas ambientales, del manejo y disposición adecuada de RSU y su separación. Así, se ha respondido a la problemática que existe en torno el Relleno Sanitario, donde se promovió una comunicación cercana con los habitantes de la comunidad, para sensibilizarlos a través de cursos y talleres respecto al funcionamiento de un Relleno Sanitario, beneficios y programas de responsabilidad social de la empresa.

Los talleres que comenzaron con los trabajadores del relleno (que son personas que viven en las comunidades cercanas) promovieron con sus familias, niños y jóvenes de las escuelas de la zona sus nuevos conocimientos para formarlos como individuos que puedan suprimir las ideas erróneas acerca de lo que es un relleno sanitario, además de formarlos como personas capaces de disponer adecuadamente los residuos sólidos urbanos y orgánicos, y contribuir a vivir en su medio de una manera sustentable.

5. Conclusiones

El manejo y la disposición final de los residuos sólidos urbanos representan un problema desde diferentes perspectivas por el incremento de estos. Está directamente vinculado al fenómeno del crecimiento urbano que implica la necesidad de ampliar la cobertura de los servicios de recolección y asociarla con la tecnología

de un relleno sanitario que contribuye a resolver el problema de la disposición final, puesto que es un sistema tecnológico que evitaría la contaminación del agua, suelo, aire y daños en la salud pública.

Los problemas ambientales y sociales van de la mano, pero estos son originados por la falta de conocimientos y formación de conciencia de las personas. El análisis de diferentes tipos de problemas y las actividades realizadas indican que cualquier propuesta educativa es necesaria adecuarla al tipo de personas y su condición social, ubicando así elementos de su contexto que permitan conducir el diálogo para un aprendizaje significativo y aplicación de diversas estrategias que aseguren su aprendizaje.

Existen alternativas para contrarrestar los problemas que están afectando al ambiente y a la sociedad. Por ello, la *Educación Ambiental* contribuye a sensibilizar a las personas para poder visualizar con claridad la realidad de los efectos de los problemas que provocamos en el entorno e inculcar valores como el respeto, solidaridad, responsabilidad y cooperatividad que contribuyan en la integración de las familias y que sean parte del cambio de actitudes.

La participación, apoyo e interés de los directores, maestros y delegados de la comunidad junto con los alumnos y padres de familia en la aplicación del programa está fundamentado en elementos para la sustentabilidad y alternativas que ayuden a contrarrestar el problema socio ambiental con apoyo de la empresa Promotora Ambiental S.A., profesores y estudiantes universitarios a través de actividades de servicio social y desarrollo de tesis profesionales que han aportado y generado nuevos conocimientos que motiven a seguir trabajando con esta comunidad y en proyectos de este tipo.

6. Referencias

- [1] Novo, M. (2007). *La Educación Ambiental formal y no formal: dos sistemas complementarios*. Revista Iberoamericana de Educación. Educación Ambiental: Teoría y Práctica. No. 11. <http://rieoei.org/oeivirt/rie11a02.htm>
- [2] Diario Oficial de la Federación (2015) Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. 52 pp.
- [3] SEMARNAT (2008) Capítulo 8: Residuos Sólidos Municipales. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/08_residuos/cap8_1.html Fecha de Consulta: 22 de Mayo del 2013.
- [4] López-Hernández E.S. (2000). *Investigación Universitaria para el Desarrollo Sustentable: La educación ambiental no formal en Río Playa Comalcalco Tabasco*. En: Bravo, T. (coord.) La educación superior ante los desafíos de la sustentabilidad. La investigación universitaria. ANUIES-SEMARNAP. México. Pp.163-201.
- [5] López-Hernández E.S. (2003) *Educación Ambiental. Apuntes y recomendaciones didácticas para el desarrollo sustentable*. Colección José N. Rovirosa. Biodiversidad, desarrollo sustentable y trópico húmedo. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México. Pp. 179
- [6] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2013). *Síntesis estadística municipal, Centro, Tabasco*. Base de datos. Gobierno del Estado de tabasco. México.

Educación ambiental, tarea de todos; el caso del programa día por el Tec

¹Dora Argelia Hernández Martínez, ²José Guadalupe Melero Oláquez, ²Argelia Melero Hernández,
²Francisco Javier Ortiz Serrano.

¹Instituto Tecnológico de Mexicali, Av. Inst. Tecnológico s/n, Col. Elías Calles, (686)580-4958, dora@itmexicali.edu.mx.

²Instituto Tecnológico de Mexicali.

Resumen

En este trabajo se analiza como en una Institución de Educación Superior se ha venido desarrollando una actividad, en la cual participan, en forma conjunta, trabajadores administrativos, docentes y estudiantes. Esta actividad llevada a cabo desde 1994 en forma ininterrumpida denominada “Día por el Tec” ha permitido a sus miembros practicar el concepto que propuso la Unión Internacional de la Naturaleza y sus Recursos sobre el concepto educación ambiental. Para realizar estos eventos, se requiere de trabajo voluntario de docentes y estudiantes, un poco de material y equipo y una organización de 30 solo personas que garantice llevar a buen término esta actividad, semestre tras semestre. El equipo líder se compone de dos coordinadores, uno que se encarga de lo administrativo y el otro de lo práctico del evento, su responsabilidad es organizar a los voluntarios en equipos de trabajo que se les llama cuadrillas, que representan aproximadamente un 25 % de la población estudiantil de la institución. Aunque los resultados de los sólidos recogidos varía semestre tras semestre, en la campaña 2016-1 se contabilizaron aproximadamente 3,000 kilogramos, entre ramas, pasta y otra basura orgánica. Con esta actividad se promueve, dentro y fuera del aula los conceptos de educación ambiental, con la cual, además de mejorar la imagen de la institución, se generan entre los miembros buenas relaciones interpersonales, pues es la única actividad donde participan en unidad los miembros de la institución la cual se realiza en un lapso de 3 a 4 horas.

Palabras Clave: basura, campaña ambiental, equipo interdisciplinario, relaciones interpersonales, trabajo voluntario.

1. Introducción

Al dialogar sobre el tema de educación ambiental, es pertinente conocer primero un punto de partida o definición de este interesante y complejo tema.

El concepto que sobre educación ambiental propuso la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y sus Recursos [1],[2],[6] el cual dice que “*la educación ambiental es el proceso de reconocer valores y aclarar conceptos para crear habilidades y actitudes necesarias tendientes a comprender y apreciar la relación entre el hombre, su cultura y el medio biofísico que lo rodea*” es una definición que permite integrar tres principios: reconocer, crear y apreciar. Reconocer valores significa que introducir la educación ambiental en el ámbito de las Instituciones de Educación Superior (IES) es precisar que esos valores deben ser valores éticos (principios) que permitan al ser humano el diseño (creación) de nuevas tecnologías respetando (apreciando) el medio que lo rodea, por lo que la función de una IES no es solo enseñar a un estudiante sobre su futuro en la empresa donde va a desarrollar su trabajo profesional, sino que es necesario que se le eduque para la vida [2]. La institucionalización de la perspectiva de sustentabilidad en las IES considera que la educación ambiental es un eje transversal en los procesos educativos por lo que los planes y programas educativos, la organización escolar, la formación de los docentes e investigadores debe ser acorde a esta perspectiva, tal y como lo mencionan Bravo-Mercado y Bravo-Mercado y Sanchez en un estudio apoyado por la ANUIES sobre las acciones ambientales que realizan diferentes IES [3], [4].

2. Antecedentes

El Instituto Tecnológico de Mexicali es una institución pública de educación superior que forma parte del Tecnológico Nacional de México (TecNM), en la actualidad cuenta con un poco más de 3,000 estudiantes distribuidos en 11 carreras. Este trabajo presenta la forma en la que la institución, tanto administrativos como docentes y estudiantes ha venido trabajando desde hace mas de 22 años en lo que se denomina “*un día por el tec*”. Lo cual consiste en formar cuadrillas de trabajo donde estén incluidos al menos un docente o administrativo junto con un equipo de estudiantes los cuales realizan esta actividad en forma voluntaria.

2.1 Breve historia

En marzo de 1994, la administración que presidía el Arq. Rubén Castro Bojórquez convocó a una reunión general a todos los administrativos, docentes y representantes de la sociedad de alumnos con el fin de proponer, promover y ejecutar una campaña ambiental en la que participara toda la comunidad tecnológica. Esta campaña estaba (y actualmente sigue estando) dirigida a concientizar a todos los miembros de la familia Tecnológica (*románticamente en esos años, como la población total de la institución no sobrepasaba los 1,500 miembros, nos autonombrábamos familia y no comunidad, pues presumíamos que todos nos conocíamos como los miembros de una familia*). A partir del día 25 de marzo de 1994, se instituyó la campaña “día por el tec”, se decidió que esta campaña se realizara una vez por semestre, en el caso del periodo Enero-Junio, se llevaría a cabo antes de la segunda quincena de abril, esto para aprovechar que en estas fechas el clima en Mexicali es benigno (la temperatura no sobrepasa los 35 grados Celsius), además de que son fechas adecuadas para la poda de árboles. Para el segundo semestre del año, se propuso que fuera una fecha que además de contar con un clima adecuado, fuera unos días antes de la celebración de aniversario de la institución (19 de Octubre), la figura uno muestra la imagen donde se aprecia el inicio de la campaña del primer día por el tec.



Figura 1: imagen del primer día por el tec

Uno de los principales problemas con los que sufría la institución es que no contaba con permiso de riego, esto es que el agua que usaba para todos los requerimientos era la proporcionada por la red de agua potable de la ciudad, la cual resultaba muy cara, por lo que la gestión exitosa de la administración para conseguir agua de riego, permitió plantar (y replantar) en los primeros cinco años casi 30,000 árboles. La figura dos muestra cómo se plantaron en dos hileras los árboles (por contar con suficiente agua).



Figura 2: planteo de árboles por parte de estudiantes y docentes

2.2. Organización

La figura tres muestra el esquema general de la organización que año con año, se ha esmerado en mejorar, el equipo de liderazgo está formado por los directivos (Director, Subdirectores y Jefes de Departamento), aproximadamente 30 personas, realizar esta campaña es parte del trabajo agendado para cada semestre, los demás miembros de las cuadrillas y equipos de trabajo administrativo lo llevan a cabo en forma voluntaria. Cada semestre el número de participantes cambia según el interés y promoción que cada docente realiza con sus estudiantes, a manera de ejemplo, para el semestre 2016-1 participaron aproximadamente 900 personas entre docentes, administrativos y estudiantes, esto representa un 25% de la población total de la institución.

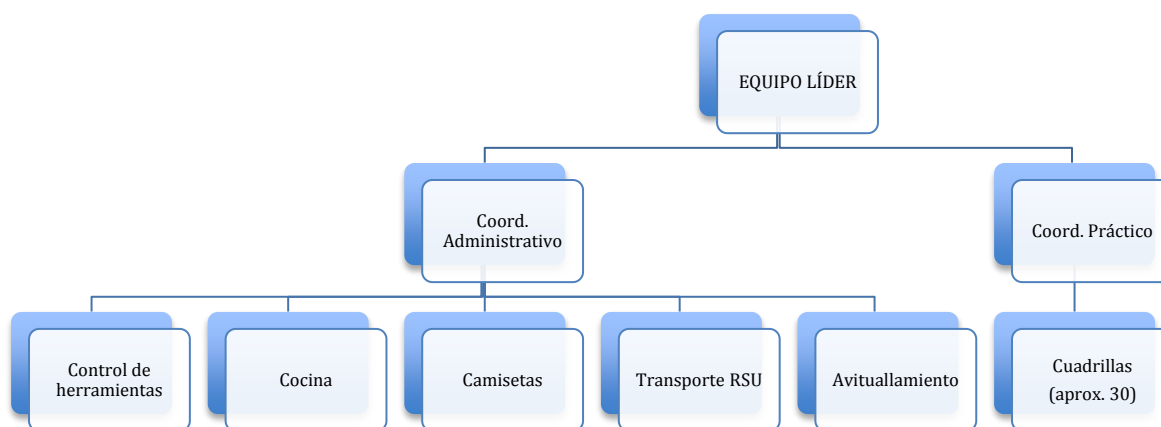


Figura 3: Esquema de la organización del día por el tec

Coordinador administrativo. Es un directivo (normalmente un subdirector) cuya función es proveer equipo y herramientas y autorizar gastos se tengan que realizar para asegurar el éxito de esta campaña, es responsable de los siguientes equipos:

- Control de herramientas.- este equipo cuyo líder es el jefe de servicios generales, es el encargado de controlar el equipo y material necesario para que una cuadrilla tenga lo necesario, tal como carretillas, machetes, palas, picos, bolsas para basura, entre otras cosas. Como estos recursos son

- limitados, se les pide a los líderes de cada cuadrilla que de ser posible ellos mismos lleven sus herramientas de trabajo, muchos si lo hacen, pero los que no llevan, la institución se los proporciona.
- **Cocina.-** este equipo que con el paso del tiempo se ha vuelto en algo indispensable, es el encargado de preparar tortas o alguna otra comida que la administración aporta para los diferentes equipos de trabajo. Desde los primeros años de esta campaña de limpieza, este equipo existe. Este equipo normalmente está conformado por personal administrativo de la institución (secretarias, personal de laboratorio, entre otras).
 - **Camisetas.-** este equipo, se formó a través del tiempo, la administración, junto con algunas empresas proveedoras de la institución, regalan a cada participante de esta campaña, una camiseta en alusión al evento, esta acción, por supuesto, ayuda a la integración de los diferentes equipos y cuadrillas de trabajo, de forma tal que en la actualidad, para los estudiantes representa, por decirlo de una forma, un símbolo de pertenencia a la institución y para la administración que se encarga de proporcionar dichas camisetas, un signo de agradecimiento, de esta manera se aplica el ganar-ganar en todos los miembros de la institución. El equipo de trabajo que realiza el conteo, compra y control de dichas camisetas es el departamento de recursos financieros (ningún otro lo podría hacer, sino el que es responsable del uso del dinero en la institución), junto con algunos otros(as) docentes voluntarios.
 - **Transporte de los RSU.-** Este equipo, para efectos prácticos, es el más importante de esta actividad, está a cargo el departamento de servicios generales y junto con estudiantes voluntarios además del personal y equipo que la delegación municipal presta a la institución, se encargan de la recogida de los residuos que las cuadrillas preparan en las diferentes áreas de trabajo, esto es, en los vehículos tipo pick-up de la institución y de algún otro vehículo similar, recorren la institución para llevar a un deposito temporal los residuos (ramas, hojas, pasto, basura inorgánica, etc.) acopiados.
 - **Avituallamiento.-** Este equipo es el más felicitado cuando llega a las diferentes áreas donde se encuentran las cuadrillas trabajando, pues les provee de agua fría, comida, refrescos y hielo.

Coordinador práctico. Es un directivo (normalmente un jefe de departamento) cuya función es planear y delimitar las áreas de trabajo para las diferentes cuadrillas, es responsable de obtener las listas de los participantes en las diferentes cuadrillas a través del docente (junto con sus alumnos) que se anota con este coordinador. A partir de los datos que obtiene, pasa la lista al coordinador administrativo para que planee la compra de las camisetas, la comida y además realice gestiones para conseguir algunas herramientas.

- **Cuadrillas de trabajo.-** Son las encargadas de llevar a cabo, en forma práctica, el día por el día, se encargan de podar, cortar maleza, recoger basura inorgánica (bolsas y cartón principalmente) y llenar en bolsas negras (de 150 y 200 litros) los residuos recogidos en sus área de trabajo. Las bolsas las cierran para que el equipo de transporte las disponga en los depósitos temporales. Adicionalmente otras cuadrillas se dedican a pintar camellones, áreas de estacionamientos o encalar troncos de árboles.

3. Resultados

A partir de la organización (detallada en la sesión anterior) los resultados que se obtienen de esta campaña se pueden dividir en tres partes:

- **Limpieza de RSU en toda la institución.-** El llevar a cabo esta campaña, permite a las cuadrillas limpiar de residuos la institución en un promedio de cuatro horas de trabajo, lo que el departamento de servicio generales tardaría al menos una semana para lograrlo. En la campaña 2016-1 se contabilizaron aproximadamente 3,000 kilogramos de RSU, entre ramas de arboles podados, pasto, plantas y basura inorgánica [5], la figura cuatro muestra diferentes momentos de la campaña de limpieza.



Figura 4: limpieza y deshierbe en el día por el tec

- Trabajo interdisciplinario.- Aunque en la teoría, tanto en las instituciones educativas como en las organizaciones productivas y de servicios, se promueve el trabajar en equipo, este no se da tan fácilmente. Las IES son clave para que los egresados de sus instituciones, además de escuchar este tema en clase, lo experimenten de una forma vívida, una de estas formas de vivirlo es la campaña del día por el tec, no es la única y tal ves no la ideal, pero a lo largo de estos 22 años ha permitido una interacción entre directivos, docentes, administrativos y estudiantes difícil de igualar en algún otro momento del semestre. La figura cinco muestra la supervisión y contacto que las autoridades tienen con los miembros de las cuadrillas (director y subdirectores), la figura seis muestra que no solo los estudiantes trabajan, sino que también los docentes y jefes de departamento no solo promueven y animan esta actividad sino que a la par de los estudiantes, también trabajan igual o mas que ellos. De la misma forma lo hacen algunos docentes que por alguna cuestión de salud no participan en el trabajo de campo, pero si lo hacen en la cafetería, como parte del equipo de cocina o entregando camisetitas o preparando bolsas de agua o supervisando el préstamo y entrega de regreso de los equipos prestados, entre otras cosas.



Figura 5: Directivos y miembros de la delegación sindical con cuadrillas de trabajo



Figura 6: Estudiantes y docentes trabajando en unidad

- Orgullo de trabajar por el Tec.- Los miembros de las cuadrillas generalmente se sienten orgullosos de su participación, a esta forma de participación, coloquialmente se le llama: “Amor por la camiseta”. Aunque la administración realiza esfuerzos para conseguir comida y camisetas a los participantes, en forma general no es por eso que los estudiantes y docentes participan en esta campaña, sino porque consideran que es solo una forma de agradecer, de parte de los estudiantes hacia la institución que los ve crecer, tanto en lo físico como en lo académico y por supuesto en lo mental/actitudinal y en el caso de los docentes, una buena parte de los que participan es porque conocen el sistema que a muchos de ellos (este equipo de trabajo incluido) ha sido formado y educado en una IES pública, con lo cual es una forma también de agradecer esa formación, de la cual están orgullosos. Como se puede apreciar en las diferentes figuras, en cada evento se busca que el color de la camiseta sea diferente, hay estudiantes que mencionan que tienen 4, 5 y hasta 6 camisetas alusivas al evento en que participaron. En los últimos 3 años han participado en este evento miembros de la segunda generación familiar, esto es que sus padres participaron y ahora sus hijos como estudiantes de la institución, también participan.

La planeación, supervisión, control y ejecución de esta campaña institucional, no se podría llevar a cabo sin la participación de los miembros de la institución, cada uno de los participantes tiene su importancia y están dentro de un círculo virtuoso tal que si uno se separa, este círculo se rompe. Si la administración no promueve este evento, ni busca retribuir en agradecimiento con algo a los participantes, estos, por si solos, no llevarían a cabo esta campaña, además el pequeño número de integrantes de la administración (30), por supuesto que no hacen lo que 900 si pueden hacer. Un elemento que impacta en esta actividad es el docente, pues a través de ellos(as) es como se promueve la participación entusiasta de los estudiantes. Todos ellos (docentes y estudiantes) realizan esta campaña en forma voluntaria, pero no es ningún secreto que un docente les ofrezca algunos puntos en alguna unidad de alguna de sus materias, no todos lo hacen, pero este evento el docente lo contempla desde su preparación del curso y esa es una actividad que no puede dejar pasar para que un estudiante experimente el término “formación integral” que el Tecnológico Nacional de México, además de ofertar carreras con planes y programas de estudio acordes con el acontecer del mundo [6], también contribuye a que sus estudiantes sean personas que aprenden en la vida para la vida comprometiéndose con su propio desarrollo profesional y sobre todo humano.

4. Conclusión

A partir del inicio de esta campaña ambiental, se puede concluir lo siguiente:

- Se promueve la educación ambiental dentro y fuera de aula
- Se educa o re-educan ambientalmente a todos los miembros de la institución, incluyendo a los que no participan
- Las ideas y actitudes de las relaciones administración-docentes-estudiantes son en la mayoría de los casos buenas y confiables

- En todos los eventos realizados a través de los años NO se han generado problemas de ninguna índole, ni de relaciones ni de accidentes propios de esta actividad
- La participación se mantiene constante o aumentando con el transcurso de los años
- Los resultados muestran una mejor imagen de la institución lo cual es motivo de orgullo para todos.

Cosas que se pueden mejorar

- Realizar el día por el tec en el turno matutino y vespertino, esto daría oportunidad a los estudiantes del turno vespertino que se integraran a las actividades.
- Buscar formas y métodos de motivación para los estudiantes y docentes que no participan, lo ideal es que participen todos.
- Los residuos que se recogen y depositan en bolsas, en ocasiones éstas se rompen por lo que los residuos no se pueden contabilizar ni transportar al depósito temporal.

Aunque las cosas buenas son más que las que se pueden mejorar, es bueno tener presente que la mejora continua es clave para asegurar el éxito en las acciones que realice toda IES para educar en el amor y cuidado al medio ambiente a todos miembros de ella en este proceso que debe ser permanente y de carácter interdisciplinario que esta destinado a la formación de valores éticos, desarrollo de habilidades y se cuente con las actitudes necesarias para una convivencia armónica entre los seres humanos [7],[8].

Agradecimientos

Este trabajo no se hubiera podido realizar sin la ayuda del Departamento de Comunicación y Difusión del ITMexicali a cargo de la Arq. Iris Ochoa, los archivos proporcionados fueron de gran utilidad además de la entusiasta ayuda de archivos “vivenciales/mentales” del señor Eduardo Ponce.

Referencias

- [1] Meseguer Espi J L, Más Catalá D, Gil Sanz J L, Hernández Picó J y Guilabert Morales P. (2009). Definición, principios e historia de la educación ambiental. España. En línea <http://es.slideshare.net/matojo/definicion-y-principios-de-la-educacin-ambiental-b> recuperado el 13 de Mayo de 2016.
- [2] Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2007. Ley 19,300 sobre bases generales del medio ambiente. Ministerio de Estado. Chile. En línea < http://www.sinia.cl/1292/articles-26087_ley_bases.pdf>. Recuperado el 2 de mayo de 2016.
- [3] Bravo-Mercado, T.2013. Educación Superior en México: avances sobre la inclusión de la perspectiva de sustentabilidad. IISUE-UNAM. En línea: www.ses.unam.mx/curso2013/materiales/13Sep13.pptx. Recuperado el 2 de Mayo de 2016.
- [4] ANUIES. Bravo-Mercado T, Sánchez D. Coordinadores.2002. Acciones ambientales de las instituciones de educación superior en México en la perspectiva del desarrollo sustentable: antecedentes y situación actual. En línea <http://www.sustentabilidad.uson.mx/docs/Anuiess-Semarnat%20Acciones%20ambientales%20IES%202002.pdf>. Recuperado el 2 de Mayo de 2016.
- [5] Novo Villaverde, M. (1998). *La educación ambiental, bases éticas, conceptuales y metodológicas*. (3ª Edición). Ediciones UNESCO. Editorial Universitas. Madrid.
- [6] Departamento de Servicios Generales. (2016). Comunicación interna.
- [7] García Ibarra, C A. (2012). Modelo educativo para el siglo XXI, Formación y desarrollo de Competencias Profesionales. Dirección General de Educación Superior Tecnológica. México, DF. En línea <<http://www.tecnm.mx/modeloeducativo/modeloeducativo.pdf>> Recuperado el 13 de Mayo de 2016.
- [8] Definición de educación ambiental. En línea http://images.slideplayer.es/1/94898/slide_3.jpg. Recuperado el 1 Mayo de 2016.

Recolección, redistribución y revalorización de los objetos en desuso

¹Héctor Reyes Aguilar. ²Iohannes Balam Valadez Mayorga

¹ Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, Avenida San Pablo Xalpa 180, Azcapotzalco, Reynosa Tamaulipas, 02200 Ciudad de México. Tel: 5512300494, correo: al210331413@alumnos.azc.uam.mx.

² Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco,

Resumen

La “*grati-feria*” es un evento en donde se donan objetos para ser reutilizados por otras personas que, a diferencia de un trueque, no es necesario donar para recibir y viceversa. El espacio puede ser cualquiera siempre y cuando haya espacio para los objetos que se recauden. Pueden ser de carácter permanente, regular o itinerante. Hoy en día estos eventos pueden ser vistos como una solución sustentable ya que tienen como objetivo principal dar un nuevo valor de uso al compartir de manera desinteresada los objetos que ya no se utilizan para que otro pueda aprovecharlos. Actualmente esto ya sucede como una práctica constante en distintos puntos de la Ciudad de México y la Zona Metropolitana, dadon como resultado una respuesta positiva por parte de los participantes o asistentes, algunos se animan a organizar sus propias *grati-ferias* o ayudan a la difusión del evento, es así como esta feria llega a la UAM Azcapotzalco.

Palabras Clave: revalorización, reducción, reutilización, reciclaje.

1. Introducción

El ciclo de vida es el conjunto de etapas por las que atraviesa un producto o servicio de inicio a fin tales como; diseño, extracción y adquisición de recursos y materiales, producción, transporte y distribución, uso y mantenimiento, recuperación, re-utilización, reciclaje y disposición [1]. Cualquier cambio que los desarrolladores puedan hacer para reducir la cantidad de materiales y energía en una solución reducirá – algunas veces dramáticamente- el impacto que este tiene en los recursos y el ambiente. La reducción sistemática de materiales tóxicos, la ingeniería a detalle para reducir el tamaño y peso del producto, y la reducción de los desechos y energía empleada en el proceso de manufactura (donde ocurre 80-90 por ciento del impacto de un producto) puede hacer una mejora radical en la sustentabilidad de un objeto [2].

El reciclaje es una de las formas de disminuir los impactos ambientales de un producto, sin embargo, es un proceso que en sí mismo también genera impactos. Esto se debe a dos principales razones: la falta de un sistema organizado y eficiente para el reciclaje de los materiales vírgenes y la limitada información y medios a que los ciudadanos tienen acceso. El sistema de reciclaje demanda también una gran cantidad de energía y tiempo en la separación, selección, transporte y preparación de los materiales. El proceso de reciclaje del aluminio, por ejemplo, requiere de la energía calorífica empleada en la refundición del metal. En conclusión, cuando un objeto es reutilizado o satisface nuevamente una necesidad de uso se elimina el impacto ambiental que causaría el producir un nuevo objeto [3].

El objeto reutilizado no tiene que pasar por el proceso sistemático de reciclaje, ahorrando en suma el impacto ambiental que requeriría el satisfacer la necesidad que el objeto ya cubre. Una de las múltiples formas para promover la reutilización de objetos es a través de *Grati-ferias* [3].

“La *Grati-feria* es una feria donde todo es gratis. Cada uno puede traer lo que tenga que ya no quiera o necesite, mas no hay obligación de traer nada para participar. Cada uno puede llevarse de la *Grati-feria* todo lo que quiera o necesite. Trasciende el trueque, puesto que no hay sentido de reciprocidad.” “El lema es «Trae lo que quieras (o nada), y llévate lo que quieras (o nada).»». [4]”. Como antecedentes existen tres momentos históricos que pueden dar origen a lo que hoy llamamos *grati-feria*:

- “*Give-away shop*”: en los años 60 el grupo teatral anarquista *The Diggers* abrió tiendas gratuitas en San Francisco (EUA), donde se podía obtener comida y medicamentos sin costo alguno, también había regularmente conciertos y exposiciones de arte abiertas al público. Este nuevo movimiento fue llamado *friganismo*, designa un estilo de vida anti consumista que consiste en el empleo de estrategias alternas para vivir. Estas estrategias están basadas en una participación limitada en la economía convencional, y en un mínimo consumo de recursos, y, por ende, un mejor aprovechamiento de los mismos. Un fenómeno similar se da en los años 90 en Europa, con la llamada “*Tienda gratis*” en Alemania, España y Reino Unido [5].
- Economía del don en Argentina: es un sistema de intercambio de productos y servicios en una sociedad, que no está sustentado en moneda sino en una serie de normas que rigen los regalos y los trueques. Ejemplos de esto lo supusieron algunos espacios inaugurados a partir de la dura crisis institucional sufrida en el país desde 2001 que estimularon formas creativas de subsistencia como el trueque de lo que se tiene excedente por lo que se necesita [6].
- La mudanza de Ariel Rodríguez Bosio en 2010: tras mudarse de casa tres veces en cinco años, el argentino Ariel Rodríguez se dio cuenta de que no había desempacado algunas cosas de su primera mudanza, así que decidió desprenderse de las cosas que ya no usaba. Hoy en día es un referente de las llamadas *grati-ferias* e invita a la comunidad en la web a crear sus propios eventos [7].

Tal pareciera que del primer al último momento citado como antecedentes existen notables diferencias ideológicas, y aunque Bosio no hace referencias directas a alguna ideología política, su discurso posee convicciones anticapitalistas, muestra similitudes entre la primera *Give-away shop* y la *grati-feria* quizá no como referente, sino como necesidad de las personas de encontrar una alternativa al consumismo que va por una línea muy similar.

Este trabajo describe la experiencia de la *Grati-feria* en la UAM-Azcapotzalco. La *Grati-feria* agrega un valor de reuso a los objetos; y no solo un valor de cambio o intercambio como lo es el trueque, sino más allá, ofrece la oportunidad de que las personas pongan en práctica un valor de generosidad desinteresada y el poder liberar un poco de espacio en sus hogares.

2. Metodología

La población participante en la experiencia fue la comunidad universitaria de la UAM Azcapotzalco, es decir, alumnos, profesores-investigadores, trabajadores y administrativos. Los participantes pertenecen a las tres divisiones de la universidad: Ciencias Sociales y Humanidades, Ciencias Básicas de Ingeniería y Ciencias y Artes para el Diseño.

El evento se lleva a cabo en 3 etapas:

- Difusión: se comienza con una labor propagandística con el fin de convocar la mayor cantidad de personas interesadas, esto requiere de organización e incluso en algunos casos, de uso de recursos económicos.
- Recolección: para una *grati-feria* grande se requiere de una etapa de recolección, donde se espera que los participantes sólo lleven objetos, esto para preparar el día de la feria y que siempre haya tiempo de llevar algo o de ver los objetos.
- Feria: es el día final del evento. Se procede a dejar a disposición de los participantes los objetos recolectados. Las personas tomarán lo que necesiten o podrán dejar lo que deseen. Al final de la feria lo que sobre pueden almacenarse para otra feria.

Como paso previo se ahondó en los antecedentes del evento, que remontan a la década de los 60's. También se contactó con el primer organizador del evento en este campus en 2012 y se armó un acervo fotográfico que documenta las ferias en la UAM. La observación se llevó a cabo en un inicio como espectador, prestando

especial atención a los participantes de la *grati-feria*, luego de eso se comenzó con una entrevista corta donde se indagó las razones por la cual se participaba. Tras eso, la *grati-feria* se daba por concluida y se comenzaba a planear la siguiente aprendiendo de las experiencias previas, de lo cual se registró los cambios de organización entre un evento y otro (incluso cuando un grupo dejó de realizar el evento y otro lo retomó). El proceso se siguió puntualmente durante 1 año y 6 meses, siendo el último año cuando el proceso de observación cambió de espectador a organizador (ver Figura 1). Entre las primeras *grati-ferias* organizadas en la universidad y las más recientes que fueron influenciadas por las primeras siguen existiendo similitudes, pero con significativos cambios en la organización.

La experiencia adquirida al participar activamente en la realización de eventos de esta índole, primero como espectadores y más tarde como organizadores ha permitido evaluar si este tipo de evento puede repercutir de manera indirecta sobre los hábitos de las personas y hacerlas más conscientes de su entorno y sus acciones.

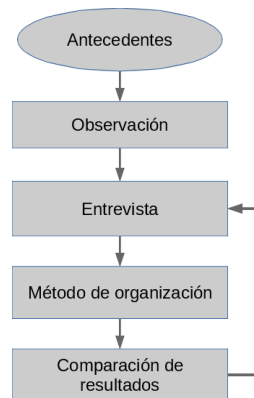


Figura. 1. Proceso metodológico

3. Resultados y discusión

En la universidad las *grati-ferias* empezaron a organizarse desde 2012, a partir de ahí se describen tres periodos de organización: el primero en 2012 con el estudiante de Licenciatura en Economía, Ramón Guzmán Herrera como organizador. Un segundo periodo comprendido de 2013 a 2014 con la estudiante de Licenciatura en Sociología, Susana Flores Mayahuel, y como tercer periodo, de 2015 a 2016 con el estudiante de Licenciatura en Ingeniería en Computación, Héctor Reyes Aguilar.

Lo que se pudo observar de las *grati-ferias* del primer y segundo periodo es la poca convocatoria que tenían, ya que la forma de hacer propaganda era de boca en boca y con carteles dibujados a mano, con pocas semanas de anticipación. Una vez empezado el evento, pocos de los participantes conocían las mecánicas del mismo y se limitaban a ver los objetos donados, hasta que encontraban algo que les gustaba y preguntaban sin más “¿Es gratis?”, o “¿Cuánto cuesta?”. Para dar carácter de “feria”, dentro del evento se incluían un conjunto de talleres tales como serigrafía, estencil y fabricación de globos de cantoya.

En las primeras *grati-ferias*, los participantes tenían en mente que los objetos venían de fuera, ya que como la recolección se hacía a la par con la feria, sólo algunos podían llevar sus objetos (ver Figura 2). No tenían una periodicidad, sino que estas primeras ferias se realizaban de manera arbitraria.



Figura. 2. Grati-feria del 1° de octubre de 2013

Las últimas *grati-ferias* del segundo periodo cambiaron en cuanto a periodicidad y empezaron a realizarse los martes de cada semana, lo que significaba una mayor cantidad de trabajo para los organizadores. El reto era mantener la *grati-feria* por lo menos un trimestre con esa frecuencia, pero el objetivo no se cumplió debido a que la exigencia de trabajo y a la cantidad de objetos que tenían para las ferias, superaba la disponibilidad de los organizadores y de los donantes.

Debido a la frecuencia del evento, la comunidad comenzó a familiarizarse con la misma y pedían que estuviera por más tiempo. Al concluir el segundo periodo, comenzaron a aparecer pequeñas *grati-ferias* alternas y con la cualidad de ser poco organizadas, con el objetivo de satisfacer la necesidad de la comunidad, pero a falta de una sólida organización muchas de estas ferias fueron perdiendo fuerza y paulatinamente dejaron de presentarse.

La primera *grati-feria* del tercer periodo empezó como un piloto, se retomó la experiencia de las ferias anteriores para entender cómo funcionaban. La organización del evento *grati-feria* es compleja. Se debe calendarizar el evento, diseñar e imprimir los carteles de difusión (Ver Figura 3), la solicitud de espacios e instalación de equipo de sonido. Dichas tareas requerían el apoyo de más personas a las cuales se les delegaba la responsabilidad de ciertas actividades.

Las ultimas *grati-ferias* del tercer periodo se realizan con el apoyo de la universidad, la publicidad se hizo de manera impresa con carteles, difusión digital en los fondos de escritorio en las computadoras la UAM Azcapotzalco, en las páginas web oficiales, a través de las páginas oficiales de Facebook, por correo electrónico a todos los estudiantes; y últimamente se ha generado interés en los medios impresos “*Aleph: tiempos de reflexión*” y del “*Semanario de la UAM*”, donde han aparecido artículos que dan fe de los últimos eventos *grati-feria* del año 2015 y primera del año 2016 [8][9].



Figura 3. Evolución de los carteles de la grati-feria.

Todo lo anterior ha generado un gran impacto en la comunidad estudiantil, a tal grado que la participación se ha visto aumentada considerablemente, tanto en cantidad de asistentes como en objetos entregados (ver Figura 4)



Figura. 4. Grati-feria del 3 de marzo de 2016

Los artículos que llegan van desde fotografías (artísticas) hasta televisores, siendo todo completamente funcional, pero los principales artículos que llegaban y luego eran reutilizados por la comunidad en las primeras *grati-ferias* del tercer periodo eran películas y discos musicales.

Se ha observado que algunas personas se apenaban de tomar la ropa y no todas las prendas donadas terminaban en nuevas manos; sin embargo, en las ferias más recientes esto ha cambiado y la ropa es la categoría de objetos más reusados, dejando en segundo lugar a las películas y en tercero a los libros.

4. Conclusiones

Los comentarios de los alumnos entrevistados en la última *grati-feria* en marzo de 2016 indican que los alumnos están empezando a cambiar ciertos hábitos, ya que ahora piensan en la feria cuando tienen la necesidad de sacar cosas de sus hogares (tal como le sucedió a Bosio) y preguntan con sus conocidos “¿habrá *grati-feria* el siguiente trimestre?”, inclusive de eventos pasados en 2014, se puede observar que alumnos ajenos al evento se organizan para crear sus propias ferias.

Las prospectivas de este evento apuntan a generar lazos con organizadores de otras iniciativas como Separación y llegar a más personas por medios como Radio-Uam, CyAD.tv y Librofest metropolitano.

Agradecimientos

Los autores desean reconocer el trabajo de Randy y Susana Flores, quienes dieron inicio a la *Grati-feria* en la UAM. Se agradece la participación de los compañeros que han apoyado el desarrollo de la *Grati-feria*: Sonia Yuriko Arrieta Alfaro, Elba Lucero Sánchez Velazco y Iohannes Balam Valadez Mayorga. También se agradece el apoyo de las autoridades para la difusión del evento.

Referencias

- [1] Shedroff, Nathan. (2009). Design is the problem, Rosenfeld Media: version 1.0. More on sustainable design: En línea < www.rosenfeldmedia.com/books/sustainable-design/ > Recuperado el 05/06/2016.
- [2] García Parra, Brenda. (2008). Ecodiseño, Nueva herramienta para la sustentabilidad. Editorial Designio. México, DF.
- [3] Thackara, John. (2005). In the Bubble, Designing in a complex world, Cambridge, Mass. The MIT Press, UNITED STATES.

- [4] Rodríguez Bosio, Ariel. (2011) ¿Qué es la gratiferia? En línea http://arcoirisuniversal.org/Que_es_la_Gratiferia.txt > Recuperado el 30/05/2016.
- [5] Spoor, Maranke. (2013). What is a FreeShop? En línea < <http://weggeefwinkels.nl/wat-zijn-weggeefwinkels-2/what-is-a-freeshop/> > Recuperado el 30/05/2016.
- [6] Misseri, L. E. (2012). El utopismo en la Argentina del siglo XXI. Índice de contenidos, pp 85.
- [7] Rodríguez Bosio, Ariel. (2011) ¿Cómo nació la Gratiferia? En línea http://arcoirisuniversal.org/Como_nacio_la_Gratiferia.txt > Recuperado el 30/05/2016.
- [8] Figueroa García, Eduardo Issachar. (2015). Grati-feria. Semanario de la UAM. Vol. XXII, Num. 14, pp 9.
- [9] Guerrero Osorio, Iseia. (2016). Grati-feria UAM-A, por el reciclaje y el alto al consumismo desmedido. Aleph: tiempos de reflexión. Año 20, Vol. 6, Num. 229, pp 16.

Estudio sobre percepción ambiental de los residuos sólidos en estudiantes de 5° grado de primaria.

Martha Elizabeth May Villarreal, José Luis Guevara Franco, Laura Patricia Flores Castillo, José Alfonso Canche Uuh, Juan Antonio Rodríguez Garza y Ana Beatriz García Chan.
Universidad de Quintana Roo, Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, Del Bosque, 77019, Chetumal, Q.R., 019838350300 y mayvillarrealmartha@gmail.com.

Resumen

La Educación Ambiental es una herramienta capaz de solventar y mitigar los problemas al medio, a partir de la formación de una cultura ecológica continua en la sociedad. Para conocer un poco más su efecto, se llevó a cabo un estudio en estudiantes de 5° grado de primaria de una escuela privada y una pública, con el objetivo de analizar su percepción ambiental sobre los residuos sólidos, así como distinguir en cual grupo de escuela la intervención tiene más efecto. Con un total de 43 alumnos y utilizando una herramienta metodológica pre test-post test. Se observaron cambios para los componentes percepción, participación, conocimiento y cuidado de la escuela pública, a diferencia de la privada que se observaron cambios en el componente actitud. Por lo tanto, los temas fueron más influyentes en la escuela pública.

Palabras Clave: Educación ambiental, método pre test-post test, residuos sólidos

1. Introducción

La problemática ambiental se debe al comportamiento humano; que nos ha llevado hacia un horizonte de insostenibilidad ecológica ya que no existen medios claros y capaces de reorientar hacia metas sostenibles [1]. Se ha acrecentado y el reto de trabajar en favor del medio ambiente también. Es necesario fomentar valores de tipo ecológico, despertar a la sociedad del tránsito en el cual se encuentra. María Novo [2] considera la naturaleza como algo para ser explotado con fines educativos, para abrir paso a una nueva percepción ambiental donde el hombre descubre su propio rol en el escenario ecológico, imponiendo un paso adelante a educar para el medio ambiente.

La Educación Ambiental es una propuesta que pretende brindar a los individuos los elementos necesarios para realizar un análisis crítico de las condiciones de su medio ambiente, permitiéndoles identificar los principales problemas ambientales y buscar su participación en la solución a los mismos [3] para ser considerada como una necesidad imperiosa, más que una moda pasajera [4].

En el artículo 177 de la Ley del equilibrio ecológico y la protección al ambiente del estado de Quintana Roo dice: El estado y los municipios promoverán la incorporación de contenidos de carácter ambiental en el sistema educativo estatal, especialmente en los niveles básico, medio y superior. Así mismo, formarán la realización de acciones de concientización y cultura que propicien el fortalecimiento de la educación ambiental [5].

Si hablamos de forma general, se conoce muy poco o no se le da el verdadero interés a promover actividades de educación ambiental por parte de las instituciones gubernamentales con respecto a las instituciones escolares se sabe que los temas impartidos en las aulas son muy básicos y no enfatizan por promover el cuidado del ambiente. Es decir, no se tiene una activa participación en las instituciones para lograr una equilibrada relación entre el hombre y la naturaleza.

Objetivo general

Analizar la percepción de la problemática ambiental de los residuos sólidos en estudiantes de 5° grado de primaria de una escuela privada y una pública en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.

1.1.1 objetivos específicos

- Realizar una evaluación diagnóstica del conocimiento en el tema de residuos sólidos de los estudiantes de 5° grado de primaria de una escuela privada y una pública.
- Analizar la percepción ambiental de problemática ambiental de los residuos sólidos en los estudiantes de 5° grado de primaria de una escuela privada y una pública.
- Realizar una intervención didáctica enfocada al tema de los residuos sólidos basada en los resultados del pre test.

2. Metodología

2.1 Población

El universo de la población estudio está constituido por estudiantes de 5° grado de primaria procedentes de dos escuelas diferentes; una privada y una pública, Colegio Latino y Belisario Domínguez respectivamente. En cada caso de estudio se contó con un distinto número de integrantes, de tal manera que para la escuela privada su población estudio es de 20 alumnos, mientras que para la escuela pública es de 23 alumnos.

2.2 Diseño y planificación del cuestionario

Utilizando encuestas escala Likert, que consiste en cinco opciones de respuesta: muy de acuerdo; de acuerdo; ni de acuerdo y ni en desacuerdo; en desacuerdo y muy en desacuerdo. Pero considerando que pudiese ser complicado ese planteamiento para los niños de primaria, se decidió usar otras palabras como: sí, a veces, regular, tal vez y no; es decir que ellos al responder “sí” la interpretación es muy de acuerdo, “a veces” es de acuerdo y así sucesivamente para las siguientes respuestas.

Una vez definido el tipo de encuesta para recabar la información, el siguiente paso era establecer el número de preguntas de acuerdo a lo que se quería conocer. El cuestionario es de 21 preguntas cerradas y una abierta para que los estudiantes escribieran libremente su opinión a la pregunta planteada. En el cuestionario el tópico principal es el de los residuos sólidos y todo lo que a este tema confiere, como: concepto, aprovechamiento y problemática, desde el punto de vista de estudiantes de nivel primaria.

A partir del modelo pre test-post test como herramienta metodológica se desarrolló la investigación, para recabar información en tres fases: pre-test o diagnóstico, formativa (intervención) y pos-test o evaluación con el posterior análisis del estadístico SPSS.

2.2.1 Pre-test (Diagnóstico)

Como su nombre indica en esta fase permite determinar los conocimientos previos que los estudiantes tienen con respecto al tema de residuos sólidos, la perspectiva que hasta ese momento perciben de su entorno, y saber que tan participativos son en favor del medio ambiente; además de expresar sus inquietudes y demás puntos que deseen conocer del tema.

La aplicación del cuestionario diagnóstico permitió conocer los comentarios y respuestas proporcionadas por los alumnos que dieron pie a la elaboración del programa de actividades y temas a impartir posteriormente en la fase formativa o intervención. Otro de los puntos indirectos que proporcionó esta fase fue conocer el número de población con el que se iba a trabajar; cabe mencionar que son dos poblaciones distintas pero en ambas se realizó el mismo procedimiento para la fase formativa.

2.2.2 Fase formativa (Intervención)

Barriga & Hernández proponen tres estrategias para promover el aprendizaje: aprendizaje basado en problemas (ABP), aprendizaje basado en el análisis y discusión de casos (ABAC) y aprendizaje mediante proyectos (AMP). De aplicación directa en todos los niveles escolares y pueden implementarse en el proceso de enseñanza y aprendizaje de cualquier materia o disciplina académica. Se dice que pueden desarrollarse y practicarse distintos tipos de habilidades cognitivas, expositivas, comunicativas (orales y escritas) y de pensamiento crítico y al mismo tiempo pueden aprender los contenidos (conceptuales, procedimentales y actitudinales).

De acuerdo a la manera como se pensó que se trabajara con los dos grupos, la técnica que más se apegó al desarrollo de esta investigación es el del aprendizaje basado en el análisis y discusión de casos (ABAC).

La propuesta del ABAC consiste en el planteamiento de un caso a los alumnos, el cual es analizado y discutido en pequeño y posteriormente en el grupo-clase, y en la que el proceso didáctico consiste en promover el estudio en profundidad basado en el aprendizaje dialógico y argumentativo [6].

De acuerdo al comentario anterior se puede decir que, el caso de estudio es el de los residuos sólidos del cual se desprenden cinco temas diferentes que son: introducción a los residuos sólidos, ¿Qué pasa en el relleno sanitario?, ruta de recolección y su proceso, separación de los residuos sólidos y reducir, reutilizar y reciclar.

Según la interpretación de Wassermann (1998), hay tres momentos en la propuesta del ABAC; estos tres momentos describen perfectamente lo que se realizó en las aulas, como a continuación se menciona.

- Preparación del caso. Primero se debe plantear un dilema que se expone al alumno con la finalidad de que éste desarrolle propuestas conducentes a su análisis o posible solución [6].

En esta investigación se plantearon temas de asuntos reales y relevantes que generaron análisis por parte de los alumnos. Para una mejor comprensión y revisión del tema se realizaron preguntas al final de cada exposición.

- Análisis del caso en grupos colaborativos. El siguiente paso es preparar a los alumnos para realizar actividades y evaluaciones.
- Discusión del caso en el grupo-clase. Una vez que los alumnos hayan analizado de forma suficiente el caso colaborativamente en grupos pequeños, se realizó una discusión general del tema con la clase completa, guiada por el profesor (es este caso la persona encargada de realizar la actividad debe animar la participación de los estudiantes). Así como, motivar el intercambio de ideas por medio de preguntas a los participantes; procurando evitar la dispersión y la imposición de su punto de vista hasta que se aborden las cuestiones que a su juicio son las significativas, para estudiar el dilema que el caso plantea [6].

Los tres procesos antes descritos son la base utilizada para el desarrollo de esta fase considerada la de más relevancia, porque:

- Da el inicio a la sensibilización y concientización en los alumnos.
- Se aborda el problema de los residuos sólidos y su situación actual.
- Se motiva a tener una nueva cultura ambiental y participar en beneficio del medio ambiente.

2.2.2 Post-test

Esta última fase consiste en aplicar el mismo cuestionario utilizado en el pre-test. Este cuestionario permitió saber si se presentan cambios en las respuestas de los alumnos en comparación a las del inicio, y sobre todo

en su percepción de la problemática de los residuos sólidos en el ambiente. Para conseguir los resultados primero se analizó de forma individual para cada grupo de escuela y después se comparó entre los dos grupos de escuelas.

Después de tener los dos cuestionarios resueltos se capturaron los datos proporcionados del pre-test y post-test en el software SPSS (Programa estadístico de las ciencias sociales); que ayudo a realizar los cálculos estadísticos y así obtener los resultados de la encuesta.

2.3. Análisis de datos

Una vez aplicado el instrumento a la población, se procedió a codificar, capturar y sistematizar en una base de datos para continuar con las corridas estadísticas y la elaboración de tablas y gráficos que faciliten la descripción y análisis de resultados. La sistematización y corridas estadísticas se realizaron con el programa estadístico SPSS para Windows versión 23.0.

Continuamente a la captura de datos es evaluar la validez y fiabilidad de la encuesta, que se consigue con el Coeficiente de Conbrach, que dice: un instrumento es fiable cuando con el mismo se obtienen resultados similares al aplicarlo dos o más veces al mismo grupo de individuos. En cambio se dice que un instrumento es válido cuando realmente es capaz de medir a aquello para lo que ha sido concebido [7]. En este caso la fiabilidad obtenida para nuestro instrumento es de 0.70.

Se realizó un análisis factorial a las variables; con el fin de simplificar las múltiples y complejas relaciones que puedan existir entre un conjunto de variables observadas. Para ello trata de encontrar dimensiones comunes o factores que ligan a las aparentemente no relacionadas variables [8]. Es decir agrupar en dos o más factores existentes las variables que se encuentren comunes.

Ahora bien el análisis es viable cuando la prueba de esfericidad de Bartlett y el Índice de KMO (Keiser-Meyer-Olkin) indican si existe suficiente correlación entre las variables [9]. Para el conjunto de variables del instrumento se obtuvo un valor de .654 que es interpretado como aceptable.

El análisis de la comparación de medias se realizó de dos maneras: primero la comparación de datos relacionados de cada escuela pública y privada, segundo la comparación para datos independientes de ambas escuelas. Sabiendo que ambas fueron sometidas a un mismo tratamiento: pre test y post test.

En ambos casos, las pruebas estadísticas son exigentes con ciertos requisitos previos: la distribución Normal de la variable cuantitativa y la homogeneidad de varianzas en las poblaciones de las que proceden los grupos; su no cumplimiento conlleva la necesidad de recurrir a pruebas estadísticas no paramétricas [10]. Por lo tanto si los componentes son homogéneos y cumplen con la normalidad usamos como método de análisis la prueba “T” para muestras independientes o relacionadas; según sea el caso [11].

2.4. Resultados

2.4.1 Comparación para datos relacionados

Privada

En la tabla 1 se puede observar que para la fase del pre-test para la escuela privada se tiene una media de 62.75 y una desviación estándar de 10.156, por el contrario para la fase del post-test alcanza una media de 53.05 y una desviación estándar de 18.543. Los datos demuestran que la fase de pre-test fue más exitosa.

Tabla 1. Estadística de muestra relacionada para la escuela privada

PRE-TEST	62.75	20	10.156	2.271
POST-TEST	53.05	20	18.543	4.146

De acuerdo al valor de sig. Bilateral (.039) que es menor a 0.05, indica que, no existe una diferencia significativa en el efecto de la intervención en los alumnos de la escuela privada (ver tabla 2).

Tabla2. Resultados de la prueba “t” de student para muestras relacionadas.

		Diferencias emparejadas						
				95% de intervalo de confianza de la diferencia				
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	inferior	Superior	t	Gl	Sig. bilateral
PRE-TEST	9.700	19.575	4.377	.539	18.861	2.216	19	.039
POST-TEST								

Pública

En la tabla 3 se puede observar que para la fase del pre-test para la escuela pública se tiene una media de 60.43 y una desviación estándar de 11.180, por el contrario para la fase del post-test alcanza una media de 50.61 y una desviación estándar de 16.900. Los datos demuestran que la fase de pre-test fue es más exitosa.

Tabla 3. Estadística de muestra relacionada para la escuela pública.

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
PRE-TEST	60.43	23	11.180	2.331
POST-TEST	50.61	23	16.900	3.524

De acuerdo al valor de sig. Bilateral (.042) que es menor a 0.05, indica que, no existe una diferencia significativa en el efecto de la intervención en los alumnos de la escuela pública (ver tabla 4).

Tabla 4. Resultados de la prueba “t” de student para muestras relacionadas.

		Diferencias emparejadas						
				95% de intervalo de confianza de la diferencia				
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	inferior	Superior	t	gl	Sig. bilateral
PRE-TEST	9.826	21.881	4.563	.364	19.288	2.154	22	.042
POST-TEST								

De la comparación por grupo de cada escuela: pública y privada se concluye que en ambos casos no se encontró una diferencia significativa es decir, que la intervención no fue lo suficiente como para provocar efectos positivos en los alumnos de 5° grado de ambas escuelas.

2.4.2 Comparación para datos independientes

Evaluar el grado de asociación o independencia entre una variable cuantitativa y una variable categórica (escuela pública y privada). Esta prueba se realiza comparando las medias de dos poblaciones independientes: en este caso se le asigna al grupo escuela: pública y privada, a partir de los 5 componentes obtenidos en el análisis factorial: percepción, participación, actitud, cuidado y conocimiento (variables cualitativas) en dos tiempos diferentes: pre test y post test, con el fin de conocer si se presentan cambios favorables en la última fase.

De la comparación de los 5 componentes entre los dos grupos de escuelas únicamente para el componente percepción se presentó cambios significativos antes y después de haber realizado la intervención pero esta diferencia significativa solo se presenta para la escuela pública. De los 4 componentes restantes se puede decir que no hubo tal caso de cambios significativos, cabe mencionar que en la escuela pública fue donde se observó que los valores estadísticos eran más significativos.

Lo anterior se puede interpretar se debe a que los alumnos no conocían lo suficiente de los temas de residuos sólidos y su problemática en el ambiente, en comparación a los alumnos de la escuela privada.

Esta última opinión se complementa al decir que durante la realización de la intervención se notó más opiniones y conocimiento del tema por parte de los alumnos de la escuela privada.

3. Conclusión

Utilizar a la educación ambiental como una herramienta para mitigar los problemas causados por el hombre en el medio ambiente, en la actualidad ha tenido mucho auge pero desafortunadamente no se ha sabido dar el verdadero valor que tiene y sobre todo un seguimiento.

La educación ambiental siempre ha estado presente, pero únicamente se recurre a ella cuando se presenta una emergencia o para desempolvar como una moda pasajera. A nivel educativo únicamente se ven temas vagos y no son lo suficientemente eficientes; debido a ello llevar a cabo actividades y pláticas de educación ambiental en instituciones educativas se convierte en un reto, aún más si se realiza de manera independiente.

Para esta investigación uno de los problemas presentado fue el hecho de trabajar con dos escuelas: una pública y una privada; ambas con características completamente diferentes, por ejemplo: los alumnos de la escuela privada fueron más participativos en cada una de las sesiones, dispuestos a trabajar en equipo y siempre de la manera más ordenada, en cambio los alumnos de la escuela pública la organización en grupos de trabajo era más tardado, aportar algún comentario sobre el tema tenía que ser por obligación, etc.

De la aplicación del cuestionario diagnóstico (fase pre-test), de manera general se puede decir que, se notó el interés por parte de los alumnos, ya que comentaron inquietudes y temas de los cuales querían conocer más al respecto. Algunas de las opiniones fueron: conocer más sobre el reciclaje, a donde se lleva los residuos sólidos, ¿Cuál es la cantidad de basura que se genera?, los efectos que tiene los residuos sólidos en el ambiente, porque es importante separarla, el tiempo que lleva para degradarse los residuos, etc. Lo importante a destacar es que los alumnos mostraron interés y entusiasmo, así como inquietudes en este tema de los residuos sólidos. El cuestionario tuvo la finalidad de identificar los puntos deficientes en el conocimiento del tema de residuos sólidos que más tarde serían explicados en la fase formativa.

Otras de los puntos importantes a mencionar de manera general de los alumnos de 5° grado de primaria de ambas escuelas es que demostraron:

- Poder separar sus residuos sólidos en orgánico e inorgánico,
- Saber la diferencia entre residuo y basura,
- Identificar conceptos como: reciclar, reducir y reutilizar; así como también consejos de cómo llevarlos a cabo,
- Localizar centros de acopio en la localidad de Chetumal,
- Saber cómo funciona un relleno sanitario y conocer más allá de la labor de las personas que recolectan la “basura”.

Sin embargo, se puede concluir que los alumnos de 5° grado de primaria de una escuela pública y privada, no llevan a la práctica los conocimientos adquiridos; es decir saben que es un residuo sólido y conocen la diferencia entre basura y residuo, sin embargo no separan ese material en el contenedor adecuado para que pueda ser reciclado o reutilizado. Además de su actitud hacia el cuidado del medio ambiente es poco favorable, no todos los alumnos analizan y ven más allá de los efectos causados al ambiente. Por lo tanto, únicamente se quedan con el aprender a conocer.

Referencias

- [1] Naredo Pérez, J. M., & ANTONIO, V. C. (1999). Desarrollo Económico y deterioro ecológico. *Fundación Argentina-Visor Dis. Madrid*.
- [2] Novo, M. (1995). La educación ambiental: bases éticas, conceptuales y metodológicas. Universitat Madrid, España.
- [3] Meza A, L., (1992). Educación ambiental ¿para qué? En línea <<http://nuso.org/autor/leonardo-meza-aguilar/>>, recuperado el (14 de julio de 2015).
- [4] Díaz, A. (2009). La educación ambiental como proyecto institucional. Desde Estocolmo a Rio. Ukanbanda México D.F, México.
- [5] LEEPA. (2001). Decreto numero 105 por el que se aprueba la ley del equilibrio ecológico y la protección al ambiente del estado de Q. Roo, <<http://faolex.fao.org/docs/pdf/mex154418.pdf>>, recuperado el (20 marzo de 2015).
- [6] Díaz Barriga, F. & Hernández Rojas, G., (2010). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: una interpretación constructivista. Mc Graw Hill, México DF, México.
- [7] Visauta, V., (2003). Análisis estadístico con SPSS para Windows: vol II. Mc Graw Hil/ Interamericana de España. México D.F.
- [8] Pérez, C., (2001). Técnicas estadísticas con SPSS. Ed Pearson, México D.F.
- [9] Camarena Gómez, B. O. (2009). Educación ambiental y formación de profesorado en México: estudio de perfiles ambientales en escuelas normales de sonora. En línea <http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/76396/1/DTHE_CamarenaGomezBO_EducacionAmbientaFormacionProfesoradoMexico.pdf> recuperado el (26 de abril de 2016).
- [10] Aguayo C, M., (2012). Como realizar paso a paso un contraste de hipótesis con SPSS para Windows y alternativamente con EPIINFO y EPIDAT: (II) Asociación entre una variable cuantitativa y una categórica (comparación de medias entre dos o más grupos independientes). En línea <http://www.fabis.org/html/archivos/docuweb/contraste_hipotesis_2r.pdf>, recuperado el (8 de febrero de 2016).
- [11] García Bellido, R., Gonzales Such, J. & Jornet Meliá, J.M. (2010). SPSS. Prueba T para

Desarrollo de competencias sustentables en universitarios a través de un programa de servicio social

¹ Gabriela Jacobo Galicia, ²Margarita Gil Samaniego Ramos, ³ Mildrend Ivett Montoya Reyes, ⁴Samantha Eugenia Cruz Sotelo, ⁵Juan Ceballos Corral

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez S/N Mexicali B. C., Tel: 686 5664270 Ext: 1316
gabriela.jacobo@uabc.edu.mx,

²⁻⁵Universidad Autónoma de Baja California

Resumen

En la Agenda 21 se plantea la responsabilidad de los educadores ante el reto del desarrollo sustentable, enfatizando que la educación es fundamental para promoverlo, así como para adquirir conciencia, valores, actitudes y comportamientos ecológicos. En este sentido, las Instituciones de Educación Superior (IES) deben incluir esta visión en sus programas. En consecuencia, la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) ha incorporado este punto de vista en sus programas de Servicio Social Universitario, donde se establece que éstos deben apoyar la formación de una conciencia de responsabilidad social en la comunidad universitaria. En este trabajo se presentan los resultados de la experiencia que se ha tenido al implementar el “Programa de Forestación y Cuidado de Áreas Verdes de la FI” (Facultad de Ingeniería), en el que participan estudiantes universitarios como prestadores de servicio social. En este espacio se pone en práctica esta visión realizando acciones del cuidado al medio ambiente a través de, entre otras actividades, la participación en forestaciones y labores de cuidado de las áreas verdes. Al finalizar el servicio, los alumnos contestan una encuesta en la que plasman sus experiencias de aprendizaje. Para evaluar los beneficios se clasificaron las experiencias y el impacto percibido por los prestadores de servicio de acuerdo a las dimensiones del desarrollo sustentable. A partir de esta clasificación se identificó que la mayoría de los aprendizajes indicados se ubican en la dimensión ambiental. Se recomienda modificar el instrumento para identificar de manera más precisa el impacto en las otras dos dimensiones.

Palabras Clave: Servicio Social, Conciencia Sustentable, Responsabilidad Social.

1. Introducción

El modelo de desarrollo económico actual ha traído como consecuencia una serie de problemas ambientales como la pérdida de suelos, de recursos hídricos, contaminación por generación de residuos sólidos peligrosos y no peligrosos, contaminación visual, cambio climático, deforestación y pérdida de la biodiversidad, los cuales han afectado gravemente a los ecosistemas del planeta. De no afrontarse este deterioro a corto plazo, se pueden tener dificultades de escasez de los recursos naturales renovables y no renovables [1]. El camino hacia la sustentabilidad requiere de una estrategia de comunicación y de educación que fomente los conocimientos, los valores y las actitudes necesarias para lograr nuevas pautas de convivencia social y con la naturaleza [2].

Sin embargo, para poder formar ciudadanos comprometidos, con ética ambiental y que puedan entender la relación que existe entre el ser humano y la naturaleza, se debe tener primeramente un carácter educativo, que va dirigido a formar valores, actitudes, modos de actuación y conductas todas dirigidas al cuidado al medio ambiente [3].

En el caso particular de la UABC, este proceso se da a través de planes de estudio y actividades extracurriculares como los programas de servicio social. Como un caso específico de tal enfoque, este trabajo tiene como objetivo identificar las competencias sustentables adquiridas por alumnos de nivel universitario a partir de la realización de un programa de servicio social en específico, donde los estudiantes realizan forestaciones y dan mantenimiento a áreas verdes. Los datos se recopilaron a través de una encuesta

que todos los estudiantes deben llenar al finalizar el servicio, la cual brinda información sobre el aprendizaje que los alumnos percibieron haber recibido después de su participación en el programa.

2. Antecedentes

La Agenda 21 estipula que debe reconocerse que la educación es de importancia crítica para promover el desarrollo sostenible y aumentar la capacidad de las poblaciones para abordar cuestiones ambientales y de desarrollo [4]. Es, por tanto, necesario contar con nuevas estrategias para entender y mitigar, desde diversos puntos de vista, el deterioro ambiental de nuestro tiempo. La educación ambiental es la herramienta ambiental para que todas las personas adquieran conciencia de la importancia de preservar su entorno y sean capaces de realizar cambios en sus valores, conducta y estilos de vida, así como ampliar sus conocimientos para impulsarlos a la acción mediante la prevención y mitigación de los problemas existentes y futuros; por ello se concibe y practica la educación ambiental desde las corrientes resolutiva y práxica [1].

Sin embargo, es importante entender que la educación ambiental debe tener un objetivo más profundo que la conservación del entorno, la concientización de las personas o el fomento de conductas proambientales. Debe transformarse en una práctica social que propicie el análisis crítico de las causas profundas de la problemática ambiental, para convertirse así en un factor de cambio y de transformación social para lograr la sustentabilidad [5].

En este contexto, las Instituciones de Educación Superior (IES) deben buscar incluir esta visión en sus todos sus programas y no solamente restringirse a contenidos en planes de estudio. En el caso particular de la Universidad Autónoma de Baja California, este requerimiento se ha incorporado en varios rubros, entre los cuales se encuentran los programas de Servicio Social, los cuales, establece la UABC en su Reglamento de Servicio Social, deben apoyar la formación de una conciencia de responsabilidad social en la comunidad universitaria [6].

En términos generales, el servicio social universitario en la UABC está estructurado en dos etapas: la primera etapa, denominada del servicio social comunitario, comprende el conjunto de actividades que realicen los alumnos que cursen estudios de licenciatura, encaminadas al fortalecimiento de su formación valoral y que no requiere de un perfil profesional determinado; y la segunda etapa, denominada del servicio social profesional, abarca el conjunto de actividades que realicen los alumnos que cursen estudios de Técnico Superior Universitario y de Licenciatura, tendientes a la aplicación de conocimientos, habilidades, aptitudes y valores que hayan obtenido y desarrollado en el proceso de su formación universitaria.

En el caso particular de este trabajo, se hace referencia a uno de los Programas de Servicio Social Primera Etapa, el denominado “Programa de Forestación y Cuidado de Áreas Verdes de la FI”, en el que participan estudiantes universitarios de nivel licenciatura cursando las etapas básica o disciplinaria en la Facultad de Ingeniería (FI) de la UABC. El objetivo de este programa incluye el reforzar la conciencia ambiental en la comunidad universitaria de la Facultad de Ingeniería promoviendo y realizando acciones del cuidado al medio ambiente a través de, entre otras actividades, la participación en forestaciones y labores de mantenimiento y cuidado de las áreas verdes. Al finalizar su periodo dentro del programa, los alumnos realizan una encuesta de salida, donde contestan varias preguntas relacionadas a su experiencia durante el desarrollo de las actividades que realizaron. Los resultados de esta encuesta se analizaron para poder identificar si el programa apoyó, conforme a su objetivo declarado, con el refuerzo de una conciencia ambiental.

Este estudio se considera pertinente ya que, aunque existen estudios vinculando la educación ambiental con su impacto en estudiantes universitarios, en general se refieren a asignaturas en programas formales de estudio [7], [8] o a prácticas de investigación [9]; y no existe información que directamente vincule el efecto del servicio social en la concientización sustentable de estudiantes en este nivel.

El objetivo del estudio es identificar las competencias sustentables adquiridas por los alumnos de las etapas básica y disciplinaria durante la realización de las actividades del servicio social, en base a los resultados de encuestas que les son aplicadas al final del servicio y que deben contestar el total de los alumnos que participan.

3. Metodología/Desarrollo

El estudio realizado fue de tipo descriptivo, con componentes cualitativos y cuantitativos, para ello se tomaron en cuenta los datos de las encuestas que se aplicaron a los alumnos que participaron en el programa durante dos eventos, uno en abril del 2016 y otro en mayo del 2016, ambos de forestación y mantenimiento a las áreas verdes de la FI. La parte cualitativa del análisis obedece a que se pretende apreciar las diferentes construcciones y significados que los alumnos obtienen de su experiencia [10].

3.1 Descripción General del Instrumento

El instrumento aplicado fue una encuesta consistente en tres secciones. La primera sección recopila los datos generales del alumno como nombre, matrícula, carrera y fecha de aplicación. La segunda sección consta de cinco preguntas cerradas, donde los alumnos responden a cuestionamientos relacionados con su percepción sobre la importancia del cuidado al medio ambiente, para dos de las cinco preguntas se utilizó una escala tipo Linkert que va de Muy importante, Bastante, Más o Menos, Algo hasta Poco importante, con relación al nivel de importancia del asunto evaluado; una tercera pregunta ofrece al alumno como opciones de respuesta: Mejorar la calidad del aire, Mejorar el clima, Que se vea bonito y Otro al cuestionamiento de por qué es importante la forestación y el cuidado de áreas verdes.

Finalmente, la tercera sección está conformada por tres preguntas abiertas, dos de las cuales cuestionan sobre qué fue lo que el alumno aprendió a partir de la realización de la actividad asignada (forestación o mantenimiento).

El objetivo de este instrumento es identificar si el alumno adquiere, a partir de las actividades, una conciencia ambiental que corresponde a la razón de ser de este programa en particular.

3.2 Identificación de Competencias Sustentables

De acuerdo con lo planteado por Díaz y Escárcega [11], para que las prácticas conducentes a lograr un desarrollo sustentable sean eficaces, es necesario que se estudien desde diferentes perspectivas. Estas perspectivas o dimensiones del desarrollo sustentable, se identifican como los componentes Económico, Social y de Medio Ambiente, los cuales, cuando se les mira como entidades separadas, como partes no relacionadas de la comunidad, son tratados como situaciones independientes unas de otras y los problemas asociados a ellas también se ven como tópicos aislados, por lo tanto las acciones diseñadas para resolverlos individualmente carecen de un enfoque sistémico que, generalmente, es ineficaz.

Para poder identificar las competencias sustentables adquiridas por los alumnos, se decidió clasificar los aprendizajes reportados en dos de las preguntas abiertas conforme a su dimensión de desarrollo sustentable y, con base a esta clasificación, analizar los resultados.

En términos generales, se consideraron dentro de la dimensión de Medio Ambiente o Ambiental, todas aquellas respuestas que hicieran referencia al cuidado de las áreas verdes, la calidad del aire, el proceso de forestación, etc. Como pertenecientes a la dimensión social se consideraron las que tenían que ver con el trabajo en equipo, el beneficio a la comunidad, la imagen de la Facultad y similares. Para la dimensión económica se contabilizaron las referentes a costos de forestación y mantenimiento, entre otras.

3.3 Tratamiento de los datos

Para lograr una mayor claridad en la información y obtener conclusiones sobre las competencias adquiridas, los datos se categorizaron por género y por etapa de formación del programa de estudio al que el alumno pertenece: básica o disciplinaria. Estas etapas se refieren a los primeros dos semestres del plan de estudios, para la etapa básica y la disciplinaria abarca del tercero al sexto.

3.4 Resultados y Discusión

3.4.1 Resultados

Del total de alumnos encuestados, el 36% fueron mujeres y el 64% fueron hombres; el 59% perteneciente a la etapa básica y el 41% a la etapa disciplinaria.

Con relación a la pregunta sobre la importancia que tiene para los estudiantes el cuidado del medio ambiente, los resultados muestran que para el 74% es muy importante, mientras que el 23% declaró que era bastante importante. Los datos por género y por etapa de formación se presentan en la Figura 1.

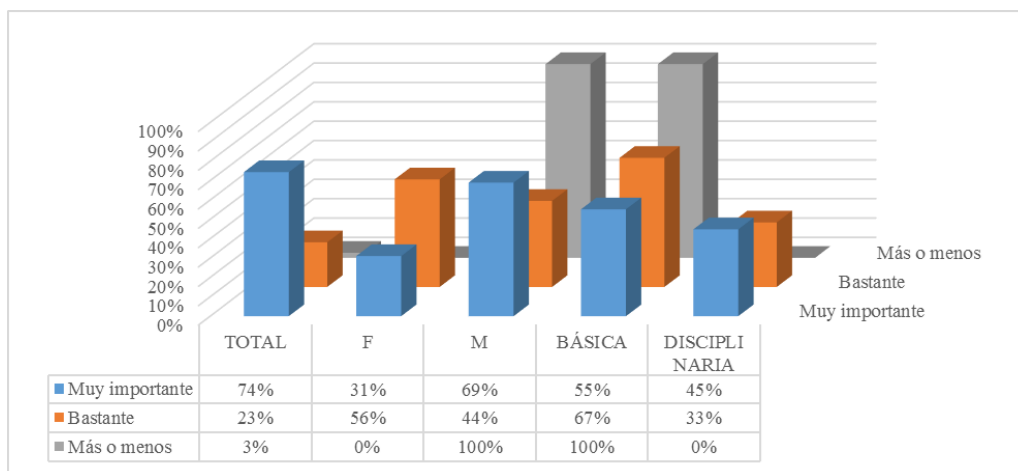


Figura. 1. Nivel de importancia del cuidado al medio ambiente, por género y por etapa

Con relación a tener áreas verdes en Mexicali, el 69% dijo que era muy importante para ellos, el 28% respondió que era bastante importante y el 3% indicó que era más o menos importante. La Figura 2 presenta esta información por género y por etapa.

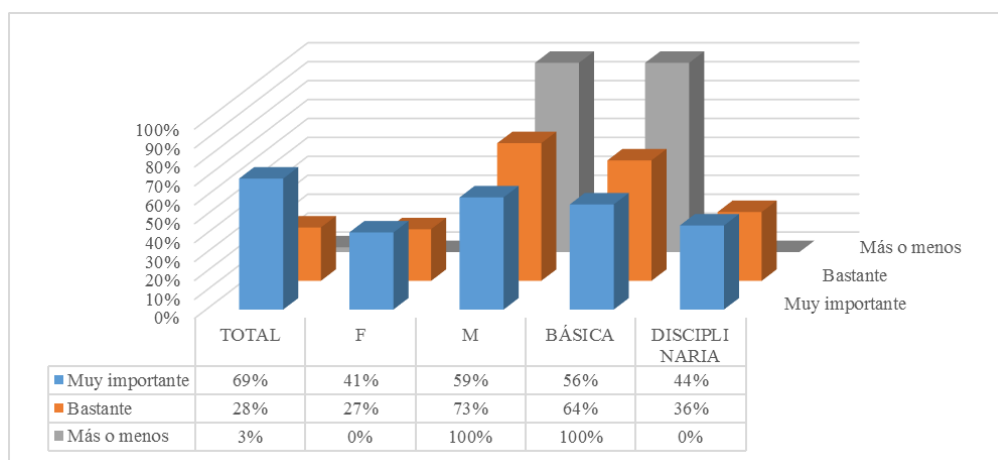


Figura. 2. Nivel de importancia de la existencia de áreas verdes en Mexicali, por género y por etapa

En cuanto a la pregunta de por qué la forestación y el cuidado a las áreas verdes son importantes, el 92% de los estudiantes respondió que porque mejora la calidad del aire, el 44% opinó que porque se ve bonito y el 26% dijo que porque mejora el clima. En la Figura 3 se presentan los resultados por género y por etapa.

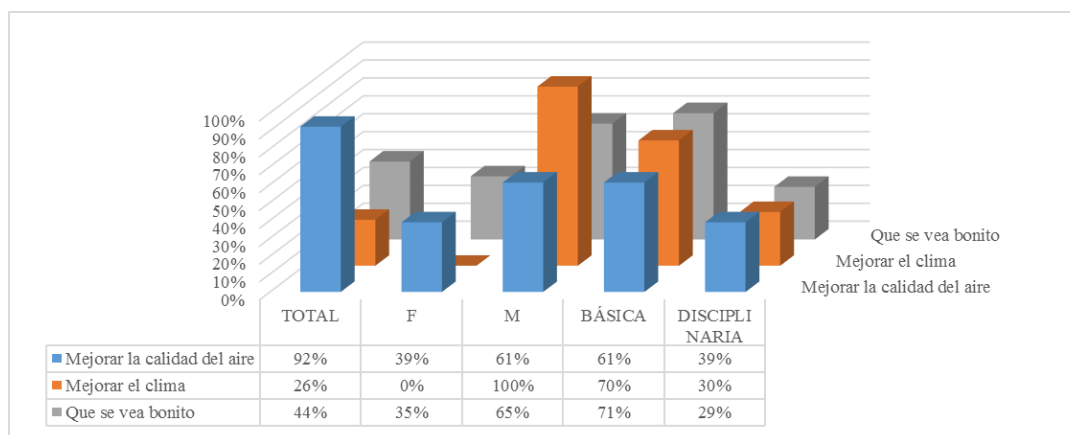


Figura. 3. Razones de la importancia del cuidado a áreas verdes y la forestación, por género y por etapa

En la sección de preguntas abiertas, en dos de las preguntas se les cuestionó a los alumnos sobre su experiencia de aprendizaje. Las respuestas dadas por los alumnos se categorizaron por dimensión de desarrollo sustentable, según su idoneidad.

Con relación al aprendizaje de los participantes en la actividad, el 54% respondió que fue el cuidado de las áreas verdes o de las plantas, el 46% a plantar o forestar y el 21% indicó que a trabajar en equipo.

En la Figura 4 se presenta la categorización del total de respuestas por dimensión, género y etapa, perteneciendo el 74% del total de las respuestas a la dimensión ambiental, el 25% a la social y el 1% a la económica. Esta gráfica también muestra que en la dimensión ambiental, el 56% de las respuestas fueron proporcionados por hombres y el 44% por mujeres.

En cuanto a la etapa de formación, el 63% de los alumnos de etapa básica dieron respuestas que se ubican en la dimensión ambiental, mientras que el 37% pertenece a la etapa disciplinaria. Con respecto a la dimensión social, los mayores porcentajes pertenecieron a alumnos del género masculino (70%) y a la etapa básica (55%). La dimensión económica solo fue considerada por alumnos hombres de la etapa disciplinaria.

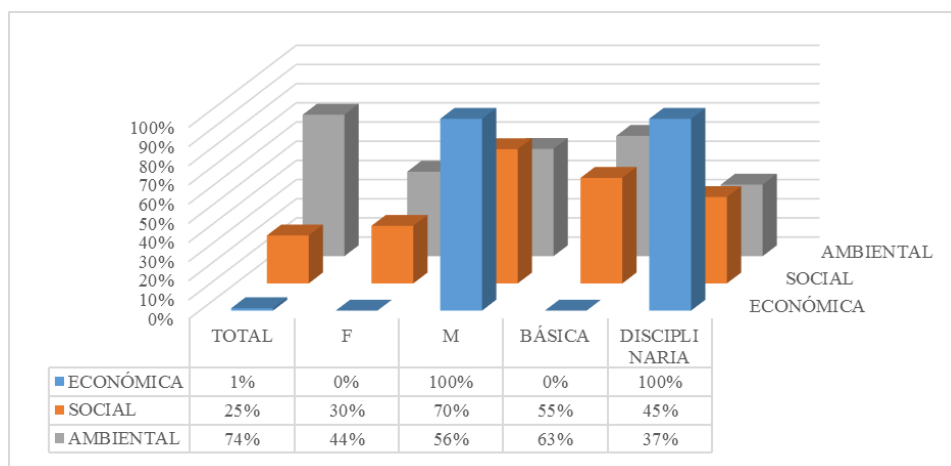


Figura. 4. Dimensiones – aprendizaje de la actividad, por género y por etapa

La segunda pregunta abierta analizada, pide al alumno que escriba lo que la actividad le dejó como persona. El 36% de los alumnos indicaron que promovió una conciencia sobre su responsabilidad en el cuidado del medio ambiente, el 21% aprendieron sobre el cuidado de las plantas y el 18% aprendió a valorar las áreas verdes.

La Figura 5 presenta las dimensiones cuantificadas para esta pregunta, por género y por etapa. En términos generales, el 61% de los alumnos reportaron aprendizajes dentro de la dimensión ambiental y el 39% en la social. Para la dimensión ambiental, los porcentajes de respuestas fueron 54% asignadas a hombres y 46% a mujeres y el 65% de los alumnos corresponden a la etapa básica mientras que el 35% pertenecen a la disciplinaria. Para la dimensión social, el 75% de las respuestas clasificadas en esta dimensión correspondieron a hombres y el 67% de los alumnos pertenecen a la etapa disciplinaria.

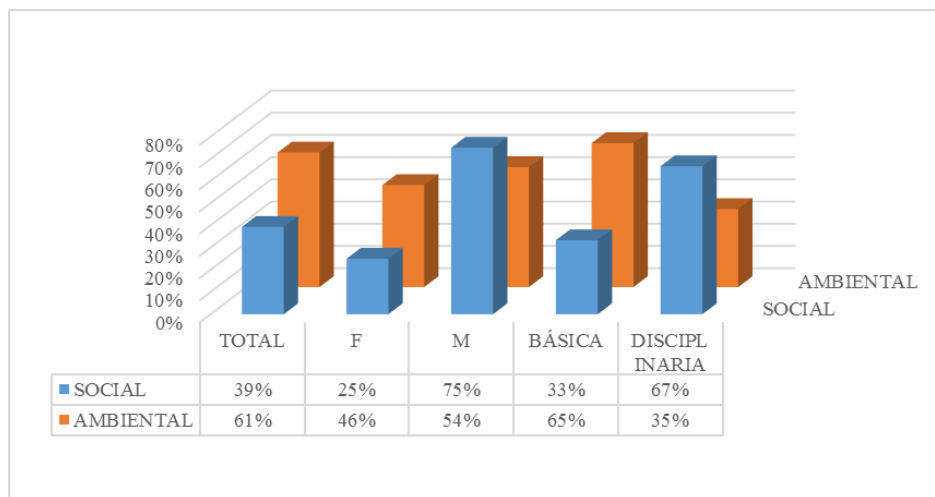


Figura. 5. Dimensiones - aprendizaje como persona, por género y por etapa

También se hizo un análisis de estas dos preguntas conjuntado las dimensiones para obtener un panorama general en términos de aprendizaje a partir de la actividad.

Los resultados conjuntos de ambas preguntas sitúan al aprendizaje en la dimensión ambiental con el 68%, en la dimensión social con el 31% y en la dimensión económica con el 1%. Los porcentajes más altos por género corresponden a los hombres con el 100% de la dimensión económica, 73% de la social y 55% de la ambiental. Por etapa, los porcentajes mayores fueron en las dimensiones económica y social para la etapa disciplinaria con 100% y 57%, respectivamente y la ambiental tuvo el porcentaje mayor en la etapa básica con el 64%. La Figura 6 presenta estos resultados.

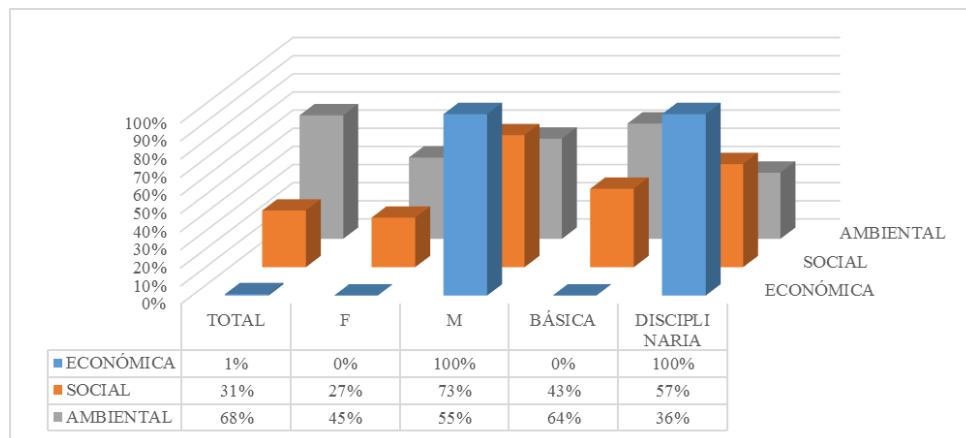


Figura. 6. Dimensiones conjuntas, por género y por etapa

3.4.2 Discusión

Los resultados muestran que, en términos generales los alumnos consideran que los aprendizajes obtenidos a partir de la realización de este servicio social en particular, les genera un aprendizaje que se puede asociar con la dimensión ambiental. Sin embargo, se puede asumir a partir de los resultados de las preguntas cerradas, que los alumnos ya tienen una predisposición hacia este tipo de aprendizaje, ya que la mayoría declaró considerar como muy importante tanto el cuidado al medio ambiente como el que la ciudad cuente con áreas verdes. Por lo tanto se puede decir que para estos alumnos actividades de este tipo refuerzan actitudes y valores que ya traen consigo.

En cuanto a las divisiones por género y por etapa, es interesante observar que los alumnos pertenecientes a la etapa básica tienden a estar más inclinados hacia la dimensión ambiental que los de la etapa disciplinaria, quienes parecen considerar las otras dos dimensiones con mayor frecuencia. Esto se puede deber a que los alumnos de la etapa disciplinaria ya se encuentran atendiendo a clases más orientados a sus áreas de especialidad, donde el enfoque en las materias de esta etapa hacia los impactos de la tecnología y de modificaciones a procesos es más preponderante.

Es importante también observar que el instrumento puede ser refinado para identificar de manera más precisa las diferentes dimensiones.

4. Conclusiones

Este estudio proporcionó información sobre las competencias sustentables adquiridas a partir de una actividad puramente práctica, resaltando, en términos generales, la dimensión ambiental sobre las otras dos. Sin embargo, es indudable que se debe buscar la manera en que, tanto la actividad como el instrumento, fortalezcan también las otras dos dimensiones y que los alumnos obtengan la información necesaria para que consideren las prácticas y hábitos proambientales en un sentido más sistémico, que incluya los factores económico y social a la par de los ambientales y poder presentar soluciones concretas. No se debe dejar a un lado el contexto en el que esta actividad ocurre: durante el proceso de formación de ingenieros, quienes son, por naturaleza, los desarrolladores, implementadores y optimizadores de procesos y tecnología; por lo tanto se les debe proveer con los instrumentos necesarios para desarrollar una visión holística sobre el impacto de sus propuestas considerando estas tres dimensiones.

Agradecimientos

Se agradece a todos los alumnos que han participado en este Servicio Social por su dedicación e interés en realizar bien la tarea.

Se agradece a la Universidad Autónoma de Baja California y en particular a la Facultad de Ingeniería por su apoyo para la realización de este programa. Especial agradecimiento se da al Área de Cuidado al Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería, por su ayuda en la obtención de recursos para las actividades de forestación y cuidado a las áreas verdes, así como por su apoyo logístico durante la realización de las mismas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Espejel Rodríguez, A. y Flores Hernández, A. (2012) Educación ambiental escolar y comunitaria en el nivel medio superior, *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17, 1173 – 1199.
- [2] Sosa, S. B., Isaac-Márquez, R., Eastmond, A., Ayala, M. E., Arteaga, M. A. (2010) Educación superior y cultura ambiental en el sureste de México, *Universidad y ciencia*, 26, 33-49
- [3] Vargas Ramos, C., Medellín Moreno, J., Vázquez Galindo, L., Gutiérrez Sánchez, G. (2011) Actitudes ambientales en los estudiantes de nivel superior en México, *Luna Azul*, 33, 31 -36

- [4] Agenda 21: Capítulo 36, Consultado el 11 de Mayo de 2016 en: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter36.htm>
- [5] Isaac-Márquez, R., Salvarría García, O. O., Eastmond Spencer, A., Ayala Arcipestre, M. A., Arteaga Aguilar, M. A., Isaac-Márquez, A. P., Sandoval Valladares J. L., Manzanero Acevedo, L. A. (2011) Cultura ambiental en estudiantes de bachillerato. Estudio de caso de la educación ambiental en el nivel medio superior de Campeche, *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 13, 83-98, Consultado el 29 de Abril del 2016 en: <http://redie.uabc.mx/vol13no2/contenido-isaacmarquezetal.html>
- [6] Reglamento de Servicio Social de la Universidad Autónoma de Baja California, Versión del 17 de Mayo del 2007, Consultado el 3 de Mayo de 2016 en: [http://sriagral.uabc.mx/Externos/AbogadoGeneral/index_htm_files/\(24\)REGL_SERV_SOC_.pdf](http://sriagral.uabc.mx/Externos/AbogadoGeneral/index_htm_files/(24)REGL_SERV_SOC_.pdf)
- [7] Goldman, D., Ayalon, O., Baum, D., Haham, S. (2015) Major matters: relationship between academic major and university student's environmental literacy and citizenship as reflects in their voting decisions and environmental activism, *International Journal of Environment & Science Education*, 10, 671 – 693. doi: 10.12793/ijese.2015.260a
- [8] Erkal, S., Kilic, I., Sahin, H. (2012) Comparison of environmental attitudes of university students determined via the new environmental paradigm scale according to the students' personal characteristics, *Eurasian Journal of Education Research*, 49, 21 - 40
- [9] Sepúlveda Gallego, L. E. (2012) La educación ambiental en los niveles educativo superior de Manizales, *Luna Azul*, 34, 50 - 65
- [10] Walker, R. (1985) *Applied Qualitative Research*, Dartmouth, 20 – 23 y 30.
- [11] Díaz Coutiño, R., Escárcega Castellanos, S. (2009) *Desarrollo Sustentable oportunidad para la vida*, McGraw Hill, 105 – 119

Experiencias en la separación de residuos para reciclaje o confinamiento: caso de estudio en sector educativo

¹Luz del Consuelo Olivares Fong, ¹Samantha Eugenia Cruz Sotelo, ¹Karla Isabel Velázquez Victorica, ¹Aida López Guerrero, ¹Ismael Mendoza Muñoz, ²Mydory Nakasima-López

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez S/N Mexicali B. C.,

² Universidad Autónoma de Baja California. Calzada Universidad #14418, Parque Industrial Internacional Tijuana

Resumen

La gestión de residuos sólidos en México es un problema complejo en el cual intervienen factores ambientales, económicos, institucionales y sociales. En 2012 se reportó una generación diaria de 94,800 toneladas, de las cuales el 47% corresponde a material inorgánico, del cual el 28% es potencialmente reciclable, y de este último sólo el 4% se recicla a nivel nacional. Por lo anterior y en el afán de promover la cultura sobre el cuidado ambiental en la Facultad de Ingeniería-UABC, campus Mexicali (FIM) se han implementado programas para la recuperación, valorización y/o disposición ambientalmente segura de residuos tales como pilas alcalinas, papel y cartón a través de campañas de acopio permanentes con la participación organismos estatales y asociaciones civiles, así como en la generación de programas de servicio social profesional. Con lo anterior en los últimos cuatro años se ha logrado recuperar 13,953.5 Kg de papel y cartón, representando el cuidado de 222 árboles y el ahorro de 389,655 litros de agua. De 2011 a 2015 se logró evitar que 1065 Kg de pilas terminaran en el relleno sanitario. Nuestros siguientes pasos se encaminan a reforzar la conciencia del uso de baterías, promover el cambio a baterías recargables, la disminución y reutilización del papel en actividades académicas así como la compra de productos buscando un consumo socialmente responsable en nuestra institución.

Palabras Clave: Separación residuos, disposición residuos, cultura ambiental, consumo responsable

1. Introducción

Los problemas de la falta de cultura del cuidado al medio ambiente han provocado la búsqueda de nuevas alternativas de investigación, desarrollo e innovación tecnológica, así como la búsqueda de que las personas asuman una responsabilidad con la sociedad para lograr un equilibrio en el desarrollo social, económico y ambiental, siendo este último olvidado por las generaciones pasadas y viviendo en la actualidad las consecuencias de estas decisiones. Es necesario visualizar “la crisis ambiental como una realidad que trasciende la mera adición de problemas de orden biofísico o natural, para representarla como un fenómeno complejo, sinérgico y de evolución incierta” [1] ya que comprender esto es el primer paso para comprender nuestra responsabilidad con futuras generaciones.

Debemos entender a la Educación Ambiental como herramienta cuyo objetivo es instruir y formar personas y comunidades en donde sus acciones transmitan una toma de decisión medioambiental más racional, fomentando una cultura del cuidado del medio ambiente, es por esto que desde el 2009 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California (FIM) se inició con actividades relacionadas con el cuidado del medio ambiente, entre ellas el reciclaje de papel, cartón, acopio de pilas para su disposición final correcta y participación en eventos relacionados a este tema lo cual ha generado un conocimiento empírico, por medio del trabajo de alumnos que realizan su servicio social dentro de los programas que están abiertos en la FIM, así como con la colaboración de otros maestros y alumnos interesados en el tema y que aportan su ayuda sólo por el interés del cuidado del medio ambiente. Recordemos que “no hay cambio ambiental consciente si no se promueve antes el cambio educativo y social, si no se establecen y se articulan los correspondientes mecanismos que permiten intervenir con racionalidad en el devenir de los acontecimientos” [2].

Es por esto que a través del trabajo colaborativo entre docentes, personal administrativo, de mantenimiento y estudiantes es posible ir desarrollando proyectos incluyentes de tal manera que los alumnos vean de manera natural la toma de decisión racional tomando en cuenta la parte ambiental. Como lo indica el documento Carta de la Tierra en uno de sus principios de acción el deber de “integrar en la educación formal y en el aprendizaje a lo largo de la vida, las habilidades, el conocimiento y los valores necesarios para un modo de vida sostenible” [3]. Carta de la Tierra es un documento que proporciona un conjunto de valores con un fundamento ético para la comunidad mundial y principios para una vida sostenible y que puede ser una buena guía para ubicar y definir proyectos de investigación y/o mejora de la sustentabilidad.

“La necesidad de entender mejor los factores socioculturales relacionados con el manejo de los desechos de la sociedad es reconocida por distintos organismos internacionales como un elemento indispensable para avanzar en los sistemas de tratamientos y disposición de los desechos en las naciones en desarrollo” [4]. El lograr el entendimiento de la problemática ambiental por cada persona en nuestro planeta, o al menos un gran porcentaje de ella permitirá avanzar más rápido en acciones, impactando positivamente e impulsando un desarrollo sustentable, como menciona Pascal Bruckner, citado por Tedesco “a partir de ahora, mi suerte no depende más que de mí mismo: imposible atribuir a una instancia exterior mis deficiencias o mis equivocaciones. Reverso de mis soberanía: si yo soy mi propio dueño, yo soy también mi propio obstáculo, único responsable de los fracasos o de las dichas que me suceden” [5].

Lee comenta que sin declaraciones o políticas sustentables, es muy difícil alentar o motivar a los miembros de las universidades a participar en iniciativas sustentables o proyectos sustentables en la educación superior. [6]. Es por ello que dentro del Plan de Desarrollo Institucional (PDI) 2015-2019 de la Universidad Autónoma de Baja California se indica que “en el ámbito de la gestión socialmente responsable de la institución, la universidad debe promover el ejercicio de prácticas de sustentabilidad” [7]. Desde el año 2000 se generó el Programa Ambiental Universitario (PAU) con la intención de promover la producción académica, la reflexión de conocimientos ambientales desde una perspectiva interculturalidad para favorecer el desarrollo humano y sostenible. En este mismo año se ingresó en el Consorcio Mexicano de Programas Ambientales Universitarios para el Desarrollo Sustentable (COMPLEXUS) pero es hasta este último PDI que se incluye de manera formal el tema de la sustentabilidad.

Teniendo esto presente el programa de servicio social profesional busca fomentar cualidades mentales que contribuyan al desarrollo de las personas pensantes dentro de una sociedad democrática; buscando una “acción moralmente informada o realizada, tanto en cuanto se orienta hacia el fomento de una nueva racionalidad ambiental” [8] buscando identificar y visualizar que “no es el ambiente físico el objeto y destinatario de la acción educativa, sino las personas, el ambiente del hombre y las relaciones que los grupos sociales establecen en sus entornos” [8]; sin convertir el entorno directo en el objetivo principal sino en el indirecto por lo que las personas participan comprendiendo mejor su entorno. La interacción de las personas en sus áreas donde se desempeñan o estudian fomenta y promueve un sentido de pertenencia que impulsará un mejor cuidado de lo que es “propio”.

Para comprender la complejidad del medio ambiente es necesario obtener una perspectiva interdisciplinar. “Cada problema ambiental, local o global, convertido en eje de la práctica educativa, obliga a examinar estos supuestos sobre el conocimiento científico y sobre el sentido común. La percepción social de la crisis ecológica forma parte de la misma crisis. De ahí que tanto el conocimiento que problematiza el medio ambiente como la acción social responsable y comprometida, se conciba como el resultado de un proceso sometido a una doble circunstancia: de un lado, como un exponente de la confrontación que hacen los sujetos con los discursos hegemónicos y con las prácticas sociales instituidas; de otro, como una tarea de apertura al diálogo y a la relación dialéctica con otras interpretaciones posibles. El conocimiento de la educación ambiental debe construirse, por lo tanto, a partir de la acción y de la reflexión de la acción” [8]. Es por esto que se identifica la necesidad del conocimiento de diferentes áreas de los alumnos para trabajar en la unión de esos conocimientos y lo puedan relacionar, trabajar y reflexionar de manera conjunta con su sociedad.

Así mismo, la misma naturaleza social de la crisis ecológica obliga incorporar discursos y perspectivas basados en una dimensión moral. “Los autores que encaran la crisis ambiental desde el terreno de la moral coinciden en la necesidad de revisar –con menor o mayor radicalidad- la ética antropocéntrica que legitima el dominio y la explotación de la naturaleza por el hombre” [8]. El marco ético no afecta sólo valores que guían las relaciones entre las personas, sino la noción antropológica del ser humano es lo que se cuestiona, obligando comprender que las personas forman parte de la naturaleza, que son naturaleza.

Consiguiendo esa visualización y entendimiento de la participación e involucramiento en la naturaleza será posible lograr un entendimiento del concepto abstracto de la sustentabilidad; para la educación ambiental el desarrollo comunitario constituye una referencia clave para obtener personas que formen parte del procesos de desarrollo, teniendo una historia, perteneciendo a un territorio, con un futuro y sin tener que renunciar a mejores condiciones de calidad de vida. Los alumnos y comunidad de la FIM al ser parte del proceso de reducción, reutilización y disposición para reciclaje y/o confinamiento de residuos generados dentro de la institución (Figura 1) podrán transmitir los conocimientos adquiridos al realizar estas actividades, induciendo el sentido de pertenencia a su comunidad, a su país y visualizar su significativa contribución al mejoramiento del medio ambiente, entendiendo que su paso y tiempo en el planeta marcará diferencia en las siguientes generaciones, así como están marcando a su realidad actual las acciones y decisiones de las generaciones anteriores a la suya.



Figura 1. Edificio central de la FIM. Ejemplos de puntos acopio pilas y papel.

2. Antecedentes

Los alumnos de la FIM tiene como requisito el realizar dos servicios sociales, la etapa comunitaria, preferentemente realizado en los dos primeros semestres de su carrera, y el servicio social profesional, que lo pueden hacer después del 60% de cumplimiento en créditos de su carrera. El objetivo general de los servicios sociales es promover una mejor calidad de vida en la población, a partir de la incidencia de los conocimientos y la investigación en la solución de problemas, formando en los alumnos universitarios un espíritu solidario hacia su comunidad. Además, el servicio social les proporciona la oportunidad de obtener experiencia en el ámbito profesional.

Por iniciativa de alumnos del programa de Ingeniería Industrial del quinto semestre, en el 2009, se inició la elaboración de la estructura de un programa de servicio social profesional, para dar respuesta a inquietudes, tanto de alumnos como docentes, sobre la disposición final correcta de pilas, papel y cartón. Fue hasta finales de 2010 que se concreta la colaboración con la Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California, mediante su programa “Ponte las Pilas” para el financiamiento de la disposición y confinamiento de las baterías recolectadas en la FIM. Para la disposición del papel y cartón acopiado se generó un convenio de colaboración con Fundación Hélice A.C., quien lleva acciones de beneficio ambiental en nuestro Estado, por lo que el material recolectado y separado se dona a esta Fundación, quienes mediante el reciclaje de diferentes materiales generan parte de sus recursos financieros. Además, con esta Fundación se tiene una colaboración estrecha, participando activamente en campañas organizadas por la misma Fundación, como donación de libros, recolección de aparatos electrónicos así como la impartición de cursos de capacitación, sin costo para la FIM, a diferentes grupos (alumnos, docentes, personal administrativo y de mantenimiento), además de la realización de propuestas de diseño de áreas, contenedores y estructuras para el acopio de los materiales.

3. Metodología

Sitio de estudio

En la FIM se cuenta con 15 edificios y laboratorios donde laboran 419 profesores y 4316 alumnos en 11 programas educativos, como Ingeniería Industrial, Mecánica, Civil, Mecatrónica, entre otras y un tronco común. Uno de los programas de servicio social profesional que alumnos de la FIM tienen como opción para la realización de su servicio y está relacionado al cuidado del medio ambiente es el “Programa de reciclaje de baterías de uso doméstico y aplicación de las 3 Rs”, el cual cuenta con participación de alumnos de Ingeniería Industrial principalmente, pero no se ha limitado la generación de grupos interdisciplinarios de trabajo, lo que ha contribuido a un mejor desarrollo de habilidades por parte de los alumnos.

Los alumnos eligen el programa de servicio social al cual se asignarán, pasando en algunos casos por un proceso de entrevista con los supervisores del programa seleccionado, si el supervisor lo autoriza el alumno inicia con las actividades señaladas para el periodo establecido, siendo un periodo mínimo de 6 meses que el alumno deberá participar activamente para la liberación total de sus horas. El “Programa de reciclaje de baterías de uso doméstico y aplicación de las 3 Rs” le entrega a cada alumno seleccionado para el periodo el plan de actividades, señalando tiempo propuesto de duración y alcance de cada actividad. Se genera el equipo de trabajo y se definen los canales de comunicación, entre el equipo y el supervisor del programa. Periódicamente se tienen reuniones de seguimiento así como de aclaración de dudas o apoyo específico solicitado por los alumnos para la realización satisfactoria de sus actividades. Una de ellas está enfocada al mantenimiento de las áreas asignadas dentro de la FIM para el acopio de materiales (papel, cartón y pilas). Para lograr este mantenimiento es necesario que los alumnos realicen inspecciones a los diferentes puntos de acopio, informen a la comunidad de cambios que se presenten en el manejo de algún material y la capacitación constante a todo el personal involucrado en la generación y el manejo de estos residuos. Para fortalecer la capacitación los alumnos diseñan compañías informativas. Otra de las actividades que realizan es la elaboración de juegos educativos sobre sustentabilidad, estos juegos están diseñados para alumnos de nivel básico, principalmente. Los alumnos tienen oportunidad de interactuar con la comunidad en eventos externos, mostrando los avances de la FIM así como transmitiendo conocimiento que ellos adquieren mediante la realización de sus actividades dentro del programa de servicio social profesional. Al final del periodo dentro del programa, los alumnos deben elaborar y entregar un reporte final que incluya la descripción de cada actividad realizada así como su impacto positivo a la comunidad y el aprendizaje obtenido por el servicio social profesional. De estos informes se identifican y designan categorías para poder clasificar los rubros en los cuales los alumnos han desarrollado más sus habilidades y se ha generado un mayor impacto positivo en ellos, promoviendo un cambio cultural relacionado al cuidado del medio ambiente. Las categorías identificadas son:

- Generación de cultura ecológica
- Generación en la concientización en la reutilización
- Seguir realizándolo en actividades cotidianas
- Generación en la concientización del reciclaje
- Una disposición final correcta de las pilas

Uno de los actores principales para llevar acabo el acopio del papel y cartón es el personal de mantenimiento, sin quitar importancia al generador primario, pero es este personal quien traslada el material al punto de acopio general. Debido a los buenos resultados obtenidos con el acopio de papel y cartón, a principios del 2016 se tomó la iniciativa de agregar a los plásticos a la lista de materiales a recolectar por parte de la comunidad de la FIM. En la Figura 2 se muestra de manera general el procedimiento que se realiza para la separación y recolección de los residuos.

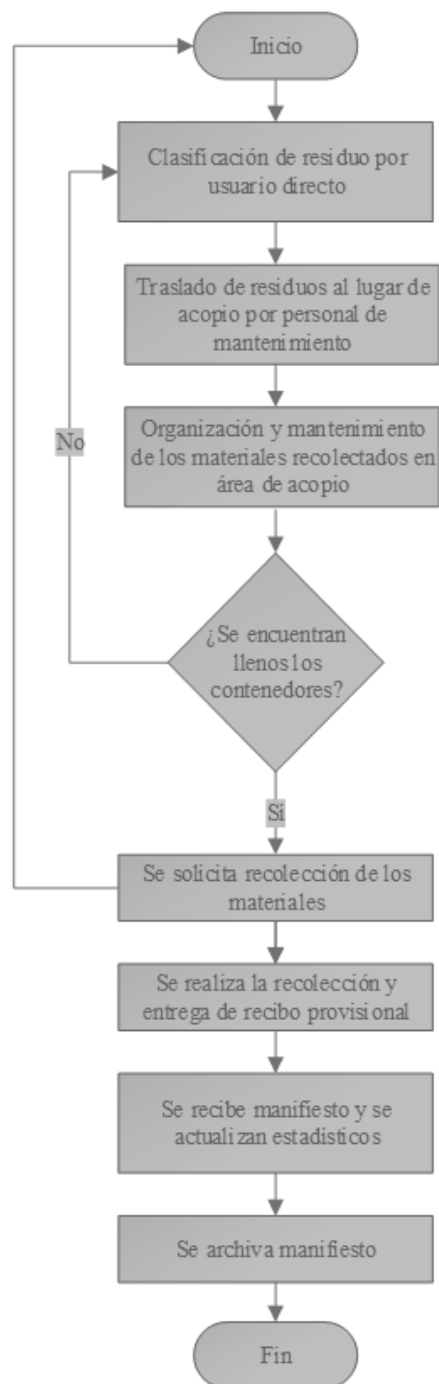


Figura 2. Diagrama del procedimiento para separación y recolección de residuos en FIM

Recolección de datos

Desde que se abrió el programa de servicio social profesional “Programa de reciclaje de baterías de uso doméstico y aplicación de las 3 Rs” las actividades se han enfocado al acopio de baterías (alcalinas), la separación de papel y cartón, campañas informativas y formativas sobre el manejo correcto de estos residuos así como mejoramiento y monitoreo del área asignada para realizar la recolección y envío para su

valorización o disposición ambientalmente segura. También se ha participado en eventos locales, organizados por organismos externos a la FIM, dando a conocer las actividades que se llevan a cabo así como resultados que se han obtenido, además de la impartición de talleres (Figura 3) o diseño de juegos educativos.



Figura 3. Alumnos presentando stand en evento organizado por la Secretaría de Protección al Ambiente.



Figura 4. Alumnos de primaria recibiendo entrenamiento sobre reciclaje, cuidado del agua y aplicación de 3Rs.

Para impulsar el desarrollo de una cultura ambiental en nuestra sociedad se identifica la necesidad de trabajar con los niveles educativos previos al de la FIM, principalmente con la etapa básica (Figura 4), debido a que al crear esta conciencia en etapas tempranas de formación del ser humano se vuelven los mejores auditores en la vida de adultos. Al enseñar a los alumnos del servicio social y ellos transmitiendo estos conocimientos se genera la unión de varios eslabones en pro de este cambio cultural enfocado al cuidado del medio ambiente.

Las entregas de los materiales acopiados se realizan en diferentes momentos del año, en promedio se solicita la recolección del contenedor con pilas acopiadas a finales de cada año. La recolección y envío a confinamiento de este residuo es por medio de empresas que colaboran con la Secretaría de Protección al Ambiente y su programa “Ponte las pilas”.

La entrega del papel y cartón recolectado se realiza en promedio de manera bimestral. Por medio de la Fundación Hélice se realiza la programación de recolección de los materiales. Por ser una institución académica el residuo de papel y cartón presenta un alto volumen, es por ello que los esfuerzos iniciales se enfocaron a estos materiales, además de “las pilas por su efecto nocivo si no se realiza una disposición final correcta de ellas, debido a que las pilas en los vertederos pierden con el tiempo su carcasa y el contenido metálico se derrama, contaminando las aguas subterráneas y el suelo. Además, si las pilas se incineran, dan lugar a elementos tóxicos volátiles que contaminan el aire”. [9]

Así mismo, en un estudio realizado por la Secretaría de Protección al Ambiente estima que en todo el país, cada año, se fabrican aproximadamente unos 8,000,000 de pilas de diversas formas, además de las que se introducen a México en forma ilícita, lo que imposibilita tener un volumen exacto de los residuos que realmente se generan, se calcula que anualmente, se desechan más de 2,000,000 de pilas; con una capacidad de contaminar hasta 600,000 litros de agua o llegar a matar un árbol en un periodo menor a 90 días. Tan sólo una pila de reloj de pulsera puede contaminar 500,000 litros de agua [9]. Es por esto la importancia de promover e impulsar el acopio de este tipo de residuo.

En septiembre de 2014 se logró la asignación de un lugar específico para el acopio dentro de las instalaciones de la FIM de estos materiales, ayudando a un mejor manejo y control de ellos. Desde ese momento se visualizó agregar a la recolección material plástico pero es hasta inicios de 2016 que se oficializó el acopio de ellos. Por cuestiones de seguridad el contenedor principal para pilas se encuentra en un lugar diferente al área asignada para el papel, cartón y plástico, es un lugar abierto pero bajo sombra (Figura 5).

Tanto la Secretaría de Protección al Ambiente como Fundación Hélice entregan manifiestos a la FIM señalando las cantidades recolectadas, por medio de estos documentos es llevado el control de las cantidades acopiadas.



Figura 5. Área asignada dentro de la FIM para acopio de material. Contenedor principal para pilas.

Díaz (2009, p. 190) afirma que la participación ciudadana es el proceso a través del cual los actores sociales son parte, influyen y controlan el rumbo y la dinámica del desarrollo. Para alcanzar un ambiente sano y libre de contaminación, todos los actores de la sociedad deben ser protagonistas...la participación ciudadana es un proceso para la sustentabilidad ambiental del desarrollo...Contribuye a que las políticas públicas y las acciones privadas sean respetuosas de la diversidad, de la identidad cultural, de las prioridades de la gente y del medio ambiente local, regional y nacional [10].

Con esto en mente, uno de los compromisos con los alumnos de la FIM es brindarles los mecanismos para generar esta participación social, siendo protagonistas de cambios culturales enfocados al cuidado del medio ambiente. Las actividades que desarrollan los alumnos a lo largo de su servicio social profesional fomentan y ayudan al cambio cultural en su vida y por lo tanto de su comunidad.

4. Resultados

Se analizaron las cantidades de residuos reportadas en los últimos cuatro años a través de los manifiestos extendidos por la Secretaría de Protección al Ambiente y Fundación Hélice, así como informes elaborados por los alumnos que participaron en el programa de servicio profesional sobre Reciclaje de baterías de uso doméstico y aplicaciones de las 3R's en este mismo periodo. Los resultados obtenidos fueron el no envío al relleno sanitario municipal la cantidad de 15,018.5 kg de residuos sólidos (Figura 6), del cual el 66% corresponde a papel, 27% a cartón y el 7% a pilas alcalinas.

El material reciclable recuperado fue de 13,953.5 kg, lo que representa la conservación de 222 árboles y el ahorro de 389,655 litros de agua que hubieran sido utilizados para el proceso de fabricación de estos productos.

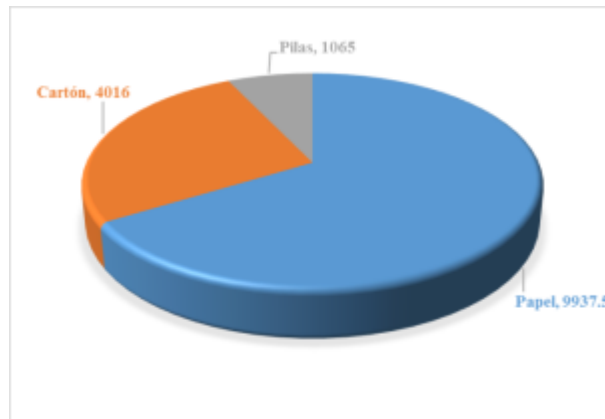


Figura 6. Material recuperado para una disposición ambientalmente segura en kilogramos (2011-2015).

También se analizaron los reportes elaborados y entregados por los alumnos que realizaron su servicio social profesional en los últimos cuatro años, siendo un total de diecisiete alumnos participantes de los cuales el 82% fue de la carrera de ingeniería industrial y un 18% entre las carreras de mecatrónica, civil y electrónica, de los cuales el 47% son hombres y el 53% son mujeres. Esta cercanía de porcentajes de hombres y mujeres se debe a que cada vez se incrementa más la apertura de oportunidades laborales para el sector femenino en la industria.

De los informes analizados los resultados obtenidos fueron que el 47% de los alumnos identifica como principal cambio en ellos una generación de cultura ecológica, el 24% de ellos señala que fue en relación a la generación de la concientización en la reutilización de diferentes materiales. Un 12% menciona que seguirá realizando estas acciones en su vida cotidiana, así como generaron la conciencia de la importancia del reciclaje de materiales. El 6% tiene en mente la disposición final correcta de las pilas alcalinas (Figura 7).

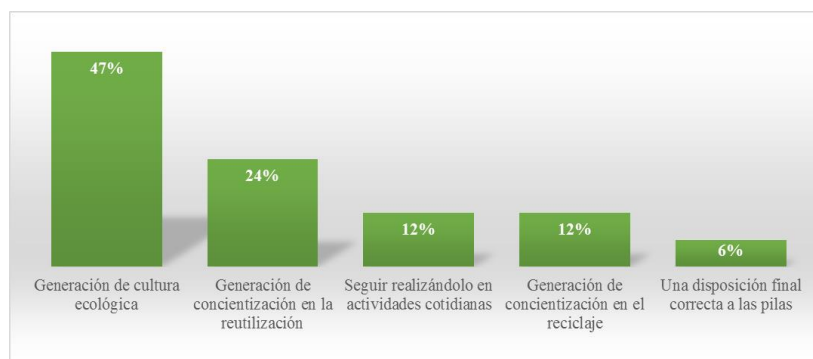


Figura 7. Categorías identificadas en reportes de alumnos de servicio social profesional.

En los últimos años se ha incrementado un 30% la participación de alumnos y un 50% la de maestros en actividades relacionadas con el acopio y separación para la valorización de materiales reciclables así como

cambios en sus actividades didácticas como son la elaboración y entrega de trabajo en formato electrónico, reutilización de hojas para realizar apuntes o ejercicios en clase y/o laboratorio. Además, el personal de mantenimiento y limpieza colabora cada vez con mayor facilidad, debido a que el mensaje es congruente con las acciones que se llevan a cabo dentro de la FIM por su comunidad; pero principalmente la transmisión de su cambio cultural ambiental a compañeros, pares laborales y familiares con su ejemplo.

Conclusiones

De acuerdo con los datos obtenidos, se puede concluir que las pequeñas acciones individuales realizadas de manera directa por cada alumno participante del servicio social profesional así como de manera indirecta por la comunidad de la FIM presentan un mayor impacto positivo al hacerlas de manera colectiva, generando un cambio en su cultura ambiental, dado que si cada persona hiciera el acopio y entrega del material de manera individual no se tendría la cantidad de 15,018.5 kg de residuo sólido no envió al relleno sanitario municipal. Es importante que sea de interés de todas las personas el tema del cuidado al ambiente para alcanzar otras metas. Por ejemplo, incrementar el acopio de las pilas alcalinas así como fomentar el uso de pilas recargables para disminuir la cantidad de desecho que podríamos generar.

Sabemos que queda un camino largo por recorrer para disminuir los impactos negativos provocados al ambiente por las generaciones pasadas y actuales, pero es un gran compromiso el que tenemos como sociedad para reducir estos impactos y generar un mejor panorama para las siguientes generaciones, cambiar nuestra manera actual de tomar decisiones. Los siguientes pasos que se proponen es aumentar la participación de profesores y alumnos de otras carreras, además de las que ya están participando, así como incrementar el número de eventos de participación que permita a la comunidad de la FIM exponer sus avances en el tema de la sustentabilidad. Además, la disminución y reutilización del papel en actividades académicas así como la compra de productos buscando un consumo socialmente responsable en nuestra institución

Agradecimientos

Alumnos, maestros, personal administrativo y de mantenimiento así como a la Secretaría de Protección al Ambiente y Fundación Hélice por su apoyo y colaboración durante todo este tiempo.

Referencias Bibliográficas

- [1][8] Caride, J.A., Meira, P.A. (2000) “Educación ambiental como práctica social crítica” del libro: *Educación Ambiental y Desarrollo Humano*. España: Ariel educación, pp. 213-248.
- [2] Gutiérrez Pérez, J., Llorente Pozo, T. (2006). *Modelos teóricos contemporáneos y marcos de fundamentación de la educación ambiental para el desarrollo sostenible*. Revista Iberoamericana de Educación. N.º 41. España: 21-68
- [3] Solís-Espallargas, C., & Valderrama-Hernández, R. (2015). La educación para la sostenibilidad en la formación de profesorado. ¿Qué estamos haciendo? *Foro de Educación*, 13(19), 165-192. doi: <http://dx.doi.org/10.14516/fde.2015.013.019.008>
- [4] Castillo, H. (1990). Tesis Doctoral. *La Sociedad de la Basura*. México D.F.
- [5] Tedesco, J.C. (1995). El nuevo pacto educativo: educación, competitividad y ciudadanía en la sociedad moderna. Anaya, Madrid.
- [6] Lee, K. et al. (2013). Is it even espoused? An exploratory study of commitment to sustainability as evidenced in vision, mission, and graduate attribute statements in Australian universities. *J.Clean. Prod.* 48 (10), 20-28.
- [7] Universidad Autónoma de Baja California. “Plan de Desarrollo Institucional 2015-2019”. En línea <http://www.uabc.mx/planeacion/pdi/2015-2019/PDI-2015-2019.pdf> . Recuperada el 21/06/16.
- [9] Secretaría de Protección al Ambiente. Programa “Ponte las pilas”. En línea <<http://www.spabc.gob.mx/dependencia/difusion-y-cultura-ambiental>>. Recuperado el 6/05/16.

- [10] Díaz Coutiño, R., Escárcega Castellanos, S. (2009). Desarrollo sustentable. Una oportunidad para la vida. México: Mc Graw Hill, pp. 190-191.

Educación Ambiental: sensibilizar a la comunidad estudiantil

Ernesto Pérez-León¹, Roxana Pérez-López², Lidia Silva-Iñiguez², Aurelio Déniz Guizar¹, José E. López Luna¹ Claudia Guadalupe Gutiérrez Corona²

¹Facultad de Comercio Exterior, Universidad de Colima. Av. Elías Zamora Verduzco núm. 269. Barrio 3. Col. Valle de las Garzas. Manzanillo, Col. C.P.28219 01 (314) 33 3 13 6

²Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima. Km. 20, carr. Manzanillo-Barra de Navidad. 01 (314) 33 11 205
eperez@uacol.mx

Resumen

Los alumnos de la Licenciatura en Comercio Exterior (LCE), de la Universidad de Colima (U. de C.), en el año, 2013, realizaron actividades de educación ambiental, con la finalidad de lograr la participación y sensibilización de la comunidad estudiantil del campus valle de las Garzas, realizando tres actividades: 1) Colecta y venta de PET; 2) Minimizar la compra de agua en envases de plástico y 3) Participación en la campaña nacional destápate contra el cáncer “MIL X UNO”, que beneficia a niños víctimas de cáncer, con una quimioterapia por cada 1000 taparrosas recaudadas. Lograron la participación de la comunidad estudiantil conformada por 800 alumnos, colectaron costales y bolsas jumbo de PET, que ocuparon las tres cuartas partes de una cancha de futbol y con la venta de este, se compraron cinco enfriadores de agua, y se logró reducir por semestre aproximadamente hasta 20,000 PET en el campus; ya que los alumnos rellenan sus cantimploras y/o botellas y disminuyeron la compra de agua embotellada. Se recaudaron 3200 taparrosas, lo que equivale a 32 quimioterapias para niños de escasos recursos con cáncer. Al concluir el proyecto, el sentir de los alumnos fue compromiso y sensibilización ambiental, labor social en beneficio del prójimo y saber que si todos participan en un mismo objetivo los resultados son mejores. Desde hace 3 años el centro de desarrollo para la familia universitaria (CEDEFU), siendo directora la esposa del rector, tomo la idea de colectar las taparrosas en la U. de C.

Palabras Clave: Educación, participación, PET, sensibilizar,

1. Introducción

Este es, el momento de desarrollar una Educación Ambiental (E-A), impregnada de valores, de una ética ecológica que atienda a contenidos de felicidad, de bienestar, de calidad de vida, de sentimientos y emociones [1]. La E-A, debe fomentar el cambio social a partir del desarrollo de valores, actitudes y habilidades para asumir una responsabilidad ambiental en las personas que viven en la comunidad. La (E-A), también considera la tarea de servicio a la sociedad como son ayudar a erradicar la pobreza, la intolerancia, la violencia, el analfabetismo, el hambre, el deterioro del medio ambiente y las enfermedades [2]. México enfrenta serios retos en el manejo de los desechos debido al elevado índice de crecimiento demográfico e industrial del país. Los envases de plástico además de proteger los productos, son su imagen y sirve para captar la atención de los consumidores. Al igual que en otros países del mundo, en México los envases se producen con una amplia gama de materiales como son papel, madera, metal vidrio y plástico, la producción de envases tiene un valor aproximado de 10 mil millones de dólares equivalente a 10 millones de toneladas en volumen de producción [3]. Desde el año 2009, se creó el proyecto *Escuela Verde*, presidido por el grupo “*REVERDECE*” el cual lo forman alumnos de (LCE) y un profesor, este proyecto se creó con el objetivo de fomentar una cultura ambiental que propicie actitudes consientes hacia el cuidado del entorno, se han realizado actividades de E-A, tales como: “*La campaña nacional limpiemos nuestro México*”, *Campaña internacional de limpieza de playas*, realizan dos veces al mes la recolección, separación y cuantificación de basura marina en la playa las Brisas ubicada en la Bahía de Manzanillo, una vez cada semestre imparten talleres a los alumnos de las primarias de la localidad. En este trabajo les compartiremos las actividades que realizaron en el año 2013, de colecta, reducción y venta de PET y la importancia de ayuda al prójimo, colectando taparrosas.

2. Desarrollo

El campus Valle de las Garzas, se encuentra ubicado en la avenida Elías Zamora No. 269 C.P. 28219. Colonia Valle de las Garzas en Manzanillo. Este campus está conformado por la Facultad de Comercio Exterior y la escuela Superior de Gestión Turística y Gastronomía la matrícula en el año 2013 fue de 800 alumnos.

Se utilizaron dos vertientes “aprendizaje significativo y la participación. La metodología se dividió en tres secciones que correspondió al periodo de un año, tabla 1.

Tabla 1. Formato de distribución de actividades

ACTIVIDAD	CUATRIMESTRE 1	CUATRIMESTRE 2	CUATRIMESTRE 3
Colecta de PET	X	X	
Colecta de taparrosas	X	X	
Consumo de Agua	X	X	X

Las actividades que se realizarían en el año 2013, que pertenecen al proyecto “Escuela Verde”, se dio a conocer en la explanada de la Escuela Superior de Comercio Exterior, por parte de los responsables del proyecto: La sociedad de alumnos y un profesor, presentaron el proyecto a los alumnos de las cuatro carreras: Comercio Exterior, Aduanas, Gastronomía y Turismo, así mismo se difundió en poster. Se realizaron gestiones con empresas recicladoras de la localidad para conocer quien ofreciera por kilo de pet el precio justo y un buen servicio de recolección.

2.1 Colecta de PET

Se fabricaron cuatro contenedores de madera de 1.50x1.50x150m, los cuales se ubicaron en el estacionamiento del campus y se les designaron a cada una de las carreras; el profesor y estudiantes contaron cada viernes el pet colectado y lo asentaron en un formato, que muestra la figura 1. La empresa de reciclado de plástico, recolectaría cada sábado el pet colectado cada en la semana.

Fecha	Facultad	Grupo	Cantidad	Nombre de los revisores

Figura 1. Formato de control de colecta de PET.

2.2 Consumo de agua

Se elaboró una encuesta para conocer el consumo y gasto que se genera por parte de los alumnos al comprar agua embotellada en las cafeterías del campus, dicho instrumento, se entregó a los jefes de grupo quienes fungirían como encuestadores, figura 2.

ENCUESTA	
Esta encuesta tiene la finalidad de conocer el consumo y gasto que se genera al comprar agua embotellada por parte de los alumnos del campus del Valle de las Garzas.	
Fecha: _____	
1. Carrera: ☐ Aduanas ☐ Comercio exterior ☐ Gastronomía ☐ Gestión turística	
2. En tu permanencia en el campus ¿consumes agua en botella? Si ☐ No ☐	
3. ¿Qué cantidad de litros? 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 - mas ☐	
4. ¿Cada cuándo compras agua embotellada? ☐ diario ☐ cada dos días ☐ semanalmente ☐ otros	
5. La compras en la cooperativa de la escuela si ☐ no ☐	
6. El precio que pagas por litro es de \$ _____	
7. Si existiera la posibilidad de adquirir enfriadores y tuvieras que cooperar cada semana una cantidad de dinero menor al que gastas, para comprar los garrafones de agua estarías dispuesto si ☐ no ☐	

Figura 2. Formato de encuesta de consumo de agua.

2.3 Colecta de taparrosas y tapas de plástico

Se informó a los alumnos que el *grupo reverdece*, estaba inscrito en una campaña nacional denominada *destápate contra el cáncer*, la cual consistía en coleccionar tapas de plástico y taparrosas de envases de leche, cloro, limpiadores, pasta dental, jugos y demás productos y por cada 1000 piezas le realizarían una quimioterapia a un niño de escasos recursos y con diagnóstico de cáncer. Se colocó un bote en cada salón, los jefes de grupo recabarían y realizarían la entrega de botes con las tapas al profesor responsable del proyecto, los días miércoles el cual llevaría el control y el almacenaje.

3. Resultados

Participaron el 100% (800) de alumnos en las actividades. La colecta de PET, se realizó durante seis meses, los alumnos traían de sus casas el PET y lo depositaban en los contenedores, la superficie que ocuparon las bolsas con PET, correspondió a $\frac{3}{4}$ partes de la cancha de fut bol, las cuales fueron vendidas a una empresa de reciclado, figuras 3 y 4.



Figura 3. PET colectado



Figura 4. Alumnos felices

Se realizaron 800 encuestas y 80 (10%) alumnos respondieron que consume un litro de agua embotellada al día y pagan un promedio \$8.30 (0.62 USD), lo que nos lleva a deducir, que por mes un alumno gasta en promedio \$150.00 (11.27 USD) y genera 20 botellas de PET. En la cafetería del campus el litro de agua se vende a \$10.00 (0.75 USD). El 93% de los alumnos están de acuerdo en pagar una cuota de entre \$20.00 (1.50 USD) y \$ 25.00 (1.88 USD), cada semana para la compra de garrafones. La conversión a la divisa de la moneda de EUA, se realizó conforme al tipo de cambio publicado por el Banco Nacional de México [4]. Participaron el 100% de los alumnos, se acopiaron 3200 tapas y taparrosas, que correspondió a 32 quimioterapia para niños con cáncer, figura 5, se beneficiaron a 15 niñas y 17 niños.



Figura 5. Taparrosas colectados.

Los alumnos que participaron en el acopio, manifestaron su interés en participar nuevamente en campañas de acopio para beneficio de niños con cáncer o enfocadas al servicio de la comunidad.

4. Conclusiones

La colecta del PET duró seis meses, el almacenaje se dificultó, ya que las bolsas de plástico se van rompiendo y la primera empresa con quien se gestionó no cumplió, la recicladora la Costa a quien se le vendió el PET, facilitó los costales para almacenar el material. La colección se realizó en época de secas, no hubo problemas de lluvia. Se vendió el PET y con el dinero recabado se compraron 10 enfriadores de agua se distribuyeron en las escuela y uno cerca de la cancha de fut bol, esto para impulsar un consumo

responsable tanto de agua como de plástico. Con la aportación individual de \$30.00 (2.24USD), cada alumno podrá disfrutar de agua helada todo el mes; es decir, con \$7.50 (.56 USD), tomarán agua toda la semana, cuando una botella de un litro cuesta \$10.00 (.75 USD) en la cafetería del campus. La aportación mensual se entrega a las secretarías administrativas de los planteles.

“Mil por uno, destápate contra el cáncer” campaña nacional cuya razón principal de ser, es ayudar por medio del reciclaje de tapas y taparrosas de distintos colores, formas, tamaños y tipos a personas que padecen la enfermedad del cáncer y que desafortunadamente no tienen los recursos económicos para sustentar los estudios, medicamentos, tratamientos y quimioterapias [5]. Las 3 mil 200 taparrosas recabadas, beneficiaron a 32 niños, los alumnos se dieron cuenta que participar en estas convocatorias hace que el ser humano tenga sentimientos de felicidad, orgullo y satisfacción y entiende lo importante que es una labor social en beneficio del prójimo.

El dueño de una agencia aduanal, le regalo al grupo que obtuvo el primer lugar en colecta de PET un viaje a Puerto Vallarta, un fin de semana y además realizó una rifa con todos los alumnos y todos los boletos tenían premio: computadoras, libros, efectivo, entre otros. Al concluir el proyecto, el sentir de los alumnos fue compromiso y sensibilización ambiental, labor social en beneficio del prójimo y saber que si todos participan en un mismo objetivo los resultados son mejores.

La dirección del Centro de Desarrollo de la Familia Universitaria (CEDEFU), invita a los trabajadores de la U. de C. a entregar en la delegación regional número 1, en el campus el Naranjo taparrosas, los cuales cada mes son entregados a los organizadores de la campaña en la Cd. de México.

Palabras textuales expresadas por el presidente de la sociedad de alumnos *“Los jóvenes debemos levantarnos activamente y tomar nuestra tajada de responsabilidad ante la problemática mundial, con acciones que trasciendan más allá de nuestros alcances comunes. Sólo de esta forma se llegará a tener avances significativos en materia ambiental, social y cultural. La juventud de hoy está lista para recibir nuevas tareas, con líderes dispuestos a actuar con soluciones”*.

Agradecimientos

La presente memoria en extenso y la presentación se financiaron con recurso de PROFOCIE 2016.

Referencias

- [1] Sosa-Nicolas M. (1985). Ética Ecológica: notas para una moral del medio ambiente. Cuadernos de Realidades Sociales, 25. P.p. 5-25.
- [2] Pérez-López R., Silva-Iñiguez L., Pérez-León E., Gutiérrez-Corona, C., (2011). La educación ambiental, herramienta que fomenta la participación y los valores. Memoria electrónica XVIII Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología del Mar. Mérida. México.
- [3] Biorene, (2012). Una alternativa sustentable. Plástico Ambiental. Revista Bimestral núm. 49. pag.17. Publicaciones del centro empresarial del plástico. S.A. de C.V. México.
- [4] http://www.banamex.com/economia_finanzas/es/divisas_metales/resumen.htm consultada 27/08/2014.
- [5] <http://vallartaopina.net/2013/09/11/gran-exito-para-destapate-contra-el-cancer/> consultada 27/08/2014.

Creencias ambientales sobre residuos sólidos en estudiantes de educación básica

¹Samantha E. Cruz Sotelo, Karla I. Velázquez Victorica, Luz del Consuelo Olivares Fong, ²Néstor Santillán Soto, ³Wendolyn Aguilar Salinas

¹Facultad de Ingeniería UABC, Blvd. Benito Juárez S/N Mexicali B. C., Tel: 686 5664270, samantha.cruz@uabc.edu.mx

²Instituto de Ingeniería, UABC Blvd. Benito Juárez S/N Mexicali B. C.

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de una investigación que se realizó en un centro escolar de educación básica para identificar las creencias y conocimientos ambientales que los estudiantes poseen con respecto a la problemática que ocasiona la basura, además de analizar la basura que generan en los mismos centros escolares. Siendo un tema importante para la educación estudiar la transición hacia un nuevo sistema social que, como consecuencia del deterioro medioambiental provocado por el ser humano, implica un cambio necesario en creencias, actitudes, valores y estilos de vida. Se presentan los resultados de un estudio empírico. Se aplicó una escala para definir las creencias ambientales de los estudiantes de una secundaria sobre el manejo de los residuos sólidos. Los resultados muestran que los estudiantes tienden más a las creencias de conservación y al mismo tiempo a ser austeros.

Palabras Clave: Consumo, creencias de conservación, dispendio material, residuos

1. Introducción

Ante las presiones del cambio ambiental y las orientaciones de la sustentabilidad la educación se encuentra ante una exigencia ineludible de transformación profunda, a fin de constituirse en uno de los pilares que contribuye de manera significativa al cambio socio ambiental, con el propósito que los educandos que egresen de los distintos niveles educativos se vayan formando integralmente para responder a los retos del entorno globalizado, ambientalmente degradado y contaminado, y en el que el conocimiento es esencial, así como el estar conscientes y comprometidos con la protección de los recursos naturales y de nuestro entorno. Es urgente que los centros escolares, presten atención a sus entornos, visualicen lo que pasa a su alrededor y que, proactivamente, respondan a esas necesidades, formando a las nuevas generaciones con un compromiso serio y activo en la protección de su entorno. En este sentido, Corral [1] señala que es importante que se promueva una conciencia ecológica, la mejor opción es iniciar desde los niveles básicos de la educación.

La conservación del medio natural es una preocupación que trasciende fronteras, por lo que se hace necesaria una actuación conjunta, de los involucrados. Por otra parte, es importante explicar los comportamientos ambientales e identificar cuáles son los predictores de estos comportamientos para instrumentar alternativas [2,3].

El consumidor debe participar en la disminución del problema que ocasiona la basura tomando decisiones ambientales conscientes sobre lo cotidiano al hacer sus compras y manejar esos productos. Una solución básica es reducir desde la fuente generadora, porque el problema no se soluciona encontrando más lugares donde depositar la basura, se soluciona al reducir desde la fuente porque esto es prevención de los desechos, lo que incluye medidas que reducen la cantidad total o la toxicidad de los desechos generados. Una cultura alternativa tendría que plantear estrategias diferentes frente al consumo como estilo de vida. Informar a la población, para hacerla consciente de las repercusiones ambientales de sus hábitos de consumo y motivarla a actuar. Por ello resulta de suma importancia los estudios sobre la conducta sustentable. [4,5].

Diversos estudios enfatizan que para resolver los problemas ambientales es necesario estudiar a los sujetos que la provocan ya que se requieren cambios en la conducta de los seres humanos prácticamente en todas

las actividades que realiza. En la actualidad, casi cualquier persona puede notar que los efectos del comportamiento humano sobre el medio son devastadores. Los problemas del medio no sólo tienen que ver con la falta de habilidades de las personas para proteger el entorno. También están involucrados los conocimientos, las actitudes y creencias de muchos individuos que consideran que los riesgos ambientales son exageraciones de los ambientalistas, estas actitudes y creencias son reflejos de sistemas culturales que se han preservado por muchos años [6,7].

Algunos autores han estudiado la EA (educación ambiental) como una herramienta para promover el desarrollo de comportamientos sustentables desde el marco de las prácticas culturales. Desde esta perspectiva, se analizan los factores que contribuyen al desarrollo de las problemáticas ambientales y se relacionan con los aspectos estructurales de la cultura que actúan determinando el contexto en el que ocurre la interacción de los individuos con su entorno ambiental entre ellas las creencias, los conocimientos y las actitudes [8-11].

2. Metodología

La investigación se realizó en una escuela que fuera de turno completo de la IV zona escolar del sistema educativo estatal a nivel secundaria. Ninguno de los centros escolares cuenta con programas para el manejo de residuos sólidos, ni con sistemas que identifiquen y contabilice los tipos de residuos que se generan. De ahí la importancia de la presente investigación se enfoque en la comunidad escolar y especialmente en los estudiantes que se están formando en el nivel de educación secundaria pues son ellos los futuros ciudadanos que contribuirán en la consolidación de una cultura ecológica y educación sustentable.

2.1 Sujetos

Para realizar la investigación se determinó trabajar con la escuela que aceptara participar, de las 10, sólo una confirmó su participación, para seleccionar a los estudiantes, se determinó censar a la población de estudiantes. Se seleccionó la totalidad de los estudiantes inscritos en el ciclo escolar 2013-2014. La escuela participante de Turno Completo fue la Escuela Secundaria No. 90 “Prácticas de Pedagogía” en ambos turnos ubicada en la colonia conjunto Urbano Esperanza. Para aplicar el instrumento se solicitó permiso para pasar todos los grupos en ambos turnos.

En la Tabla 1 se presentan los datos del número de estudiantes y grados de la población estudiada en esta tesis.

Tabla 1 Estudiantes por turno/grupo de la población estudiada

Nombre de la escuela Secundaria.	Turno	Número			Alumnos Inscritos.			Σ
		Grupos	Docentes	Alumnos	1ero	2do	3ro	
General No. 90	Matutino	12	36	483	165	164	148	477
General No. 90	Vespertino	10	32	317	130	94	93	317
Total		22	68	800	295	258	241	794

2.2. Material

Se diseñó un instrumento para identificar las conductas pro-ambientales de los estudiantes, consta de tres partes; en la primera se incluyeron los datos de identificación y demográficos de los estudiantes. En la segunda sección se incluyeron preguntas para identificar la percepción de los estudiantes sobre las prácticas de manejo que se realizan en la escuela y la disposición para participar en un programa de manejo.

En la tercera, se diseñó una escala que consta de 11 preguntas para determinar las creencias ambientales de los estudiantes. En esta sección del instrumento se incluyeron proposiciones que detallan conductas pro-ambientales, basadas (Tabla 2).

Tabla 1 Variables evaluadas en el instrumento

Variable	Sub-escalas	Reactivos
Creencias	Conservación	3
	Dispendio material	4
	Austeridad	4

Estas tres categorías se incluyeron en la construcción de la escala porque para explicar el comportamiento pro-ambiental es necesario identificar variables, para ello es importante considerar que una buena parte de las variables más mencionadas en la explicación del comportamiento pro-ambiental se refieren no a acciones o eventos concretos sino a variables disposicionales, por lo tanto un modelo explicativo adecuado debería incluir como variable no a los eventos puntuales, los cuales son únicos, sino a colecciones de éstos. Ya que estas categorías identifican propensiones, tendencias o circunstancias de acción.

En este sentido el conocimiento ambiental es un potencial predictor del comportamiento protector del medio; con relación a las creencias se les ha dado una noción de orientación al comportamiento, como algo que antecede a la acción misma, imprimiéndole dirección. De esta forma, las creencias constituyeron sistemas informativos para la acción. Y las variables relacionadas con la conservación del medio han abordado diferentes dimensiones lógicas de este comportamiento, una de ellas son las actitudes hacia el ambiente.

Para el diseño de la escala se construyó cada pregunta con una afirmación o juicio ante el cual cada sujeto eligió responder una de las cinco opciones de la escala, definitivamente no (DN), probablemente no (PN), no estoy seguro (NS), posiblemente si (PS) y definitivamente si (DS) a cada opción se le asignó un valor numérico que permitió obtener una puntuación respecto de la afirmación y una puntuación total sumando las puntuaciones obtenidas con relación a todas las afirmaciones, el puntaje va de 1 a 5. En esta escala las afirmaciones califican al objeto actitud que se está midiendo y deben expresar sólo una relación lógica, las afirmaciones que se elaboraron fueron positivas y negativas, cuando las afirmaciones eran positivas el puntaje era medido del 1 al 5 por lo que los puntajes eran altos, en cambio cuando las afirmaciones eran negativas el puntaje iba de 5 a 1.

3. Resultados

Se aplicaron 661 encuestas, el 51% de la población total corresponde a mujeres y 49% a hombres. La Tabla 2 muestra la cantidad de grupos y alumnos de cada institución participante.

Tabla 3 Descripción de la población

ESCUELAS	Nomenclatura	#Grupos	#Alumnos	
Escuela Secundaria Matutina. No. 90	(S90M)	12	413	62%
Escuela Secundaria Vespertina. No. 90	(S90V)	10	248	38%

3.1. Percepción sobre problemas de basura en la escuela

En esta sección se presentan los resultados de las preguntas relacionadas con la percepción de los estudiantes sobre el manejo de los residuos en el centro escolar y su disposición a participar en un programa de manejo de residuos.

Con relación a la limpieza en la escuela, el 12% de los alumnos de la S90M y 18% de la S90V consideran que las instalaciones de su escuela están limpias. Sin embargo el 17% y 20% respectivamente afirma que en su escuela existen problemas en el manejo de la basura..

3.2. Creencias ambientales de los estudiantes

En la figura 1 se presentan los resultados de las creencias de dispendio material, conservación y austeridad de los estudiantes de la secundaria S90M. Los resultados muestran que los estudiantes de esta escuela poseen los tres tipos de creencias y la estructura es muy similar, por lo que se destaca que no están definidos por una postura conservacionista.

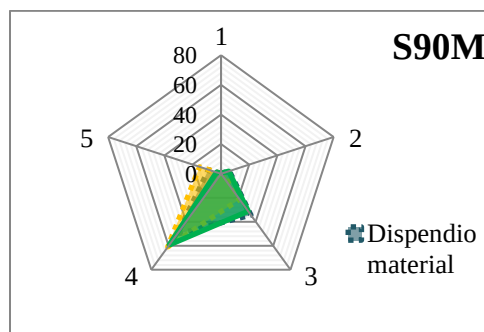


Figura 1 Creencias ambientales de los estudiantes

Con relación a los estudiantes del turno vespertino de la S90V, en la figura 2 se presentan los resultados de las creencias ambientales que poseen, en la gráfica se observa que existen pequeñas diferencias con respecto a los estudiantes de la S90M, las creencias de dispendio material están un poco más distribuidas entre los puntos 3 y 4. Los resultados muestran que tienden más a las creencias de conservación y al mismo tiempo a ser austeros.

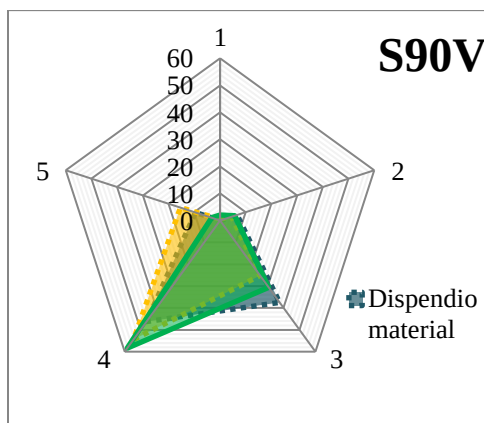


Figura 2. Creencias ambientales de los estudiantes de la S90V

Con relación a las creencias ambientales, en la Tabla 3 se presentan los resultados por pregunta, y subescala; la pregunta 1 es negativa y los alumnos manifiestan estar de acuerdo con ella, de igual manera muestran estar

de acuerdo con las siguientes tres preguntas, respecto a la variedad de usos que deben tener los productos que adquieran. Estas preguntas corresponden a las creencias de austeridad.

Del análisis de la subescala creencias de conservación se encontró que los alumnos de las dos instituciones están de acuerdo en que el reuso es una alternativa que favorece al medio ambiente y que la escuela debe iniciar un programa de manejo integral de residuos, pero se manifiestan indecisos respecto a reducción del problema de la basura mediante la separación de residuos sólidos. Por lo que respecta a las creencias de dispendio material debe señalarse que la pregunta 8 es positiva y que las preguntas 9 a la 11 son negativas, los alumnos de las tres instituciones manifiestan estar de acuerdo con la afirmación de que el reciclaje es una alternativa de manejo de residuos que favorece al medio ambiente. Se manifiestan indecisos respecto al mayor gasto que genera la separación de residuos sólidos así como que reducir la producción de basura implica sacrificar la comodidad y en que los productos desechables resultan indispensables.

Tabla 3 Creencias ambientales de los estudiantes

Creencias	INSTITUCIÓN EDUCATIVA			
	S90M		S90V TEC1	
	Media	Desviación Estándar	Media	Desviación Estándar
Austeridad				
1. El reciclaje es una actividad que puede resultar lucrativa.	2.09	1.117	2.06	1.129
2 Debo consumir sólo lo necesario.	4.08	1.119	4.02	1.257
3 Debo adquirir sólo los productos que voy a consumir.	4.07	1.134	4.13	1.313
4. Los productos que adquiero deben admitir una variedad de usos.	3.52	1.103	3.43	1.233
Conservación				
5 El reuso es una alternativa de manejo de residuos que favorece al medio ambiente.	4.24	0.978	4.17	1.006
6 La escuela debe iniciar un programa de manejo integral de residuos sólidos.	4.03	0.947	3.95	1.135
7 La separación de los residuos sólidos reduce la producción de basura.	3.39	1.174	3.30	1.300
Dispendio Material				
8 El reciclaje es una alternativa de manejo de residuos que favorece al medio ambiente.	4.39	1.015	4.35	0.964
9 La separación de los residuos sólidos implica mayor gasto.	3.30	1.100	3.24	1.333
10 Reducir la producción de basura implica sacrificar la comodidad.	3.38	1.278	3.33	1.403
11 Los productos desechables son indispensables.	2.88	1.187	2.80	1.337

4. Conclusiones

Aun cuando el tema de la contaminación ambiental provocada por la basura, forma parte de la problemática ecológica cuya solución requiere de acciones de educación ambiental, a través de un proceso continuo y permanente a lo largo de las diferentes etapas del sistema educativo formal e informal, no se propicia un cambio en las conductas de manejo no efectivo de la basura. por lo que resulta prioritario la implementación de un programa de educación ambiental que tenga como uno de sus objetivos, la toma de conciencia y sensibilización respecto de la problemática ambiental por parte de quienes integran la comunidad escolar. Así mismo se hace indispensable que este programa proporcione información referente a los problemas ambientales que genera la basura, pues esta necesidad se desprende de los resultados obtenidos en la investigación.

Con relación al conocimiento ambiental manifestados por la comunidad escolar, respecto de las alternativas que contribuyen a reducir el problema de la basura, estos manifiestan conocer algunas, pero los resultados de la caracterización muestran que no las ponen en práctica.

Por lo que respecta a las creencias manifestadas por los integrantes respecto de la conducta protectora del ambiente, consideradas como factores disposicionales y predictores del comportamiento ambiental se encontró que no existe relación entre lo que ellos creen y la conducta que manifiestan, toda vez que manifiestan creer que las prácticas de reuso y reciclaje favorecen al medio ambiente y además puede resultar una actividad lucrativa; de la misma manera ellos manifiestan estar de acuerdo en consumir sólo lo necesario y sólo adquirir lo que van a consumir, sin embargo los resultados de su conducta, obtenidos de la caracterización dan muestra una gran cantidad de residuos que pudieran ser reciclados, así como de una gran cantidad de residuos de comida que no fueron consumidos y que van a formar parte de la basura, lo cual demuestra que no hay congruencia entre lo que creen y lo que hacen.

Referencias

- [1] Verdugo, V. C. (2012). The positive psychology of sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, 14(5), 651-666.
- [2] Escobar, M. S. (2012). Comportamiento sustentable y educación ambiental: una visión desde [3] las prácticas culturales. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 44(1), 181-196
- [3] Campos, R. C. (2009). La Universidad Latinoamericana y la crisis global. *Universidades*, 59(43), 39-42.
- [4] Corral Verdugo, V., & Domínguez Guedea, R. L. (2011). El rol de los eventos antecedentes y consecuentes en la conducta sustentable. *Revista mexicana de análisis de la conducta*, 37(2), 9-29.
- [5] Álvarez, P., & Vega, P. (2009). Actitudes ambientales y conductas sostenibles. Implicaciones para la educación ambiental. *Revista de Psicodidáctica*, 14(2), 245-260.
- [6] Miranda Murillo, L. M. (2013). Cultura ambiental: un estudio desde las dimensiones de valor, creencias, actitudes y comportamientos ambientales. *Producción+ Limpia*, 8(2), 94-105.
- [7] Jiménez Sánchez, M., & Lafuente, R. (2010). Definición y medición de la conciencia ambiental. *Revista internacional de sociología*, 68(3), 731-755.
- [8] Bertoldo, R., Castro, P., & Barbará, S. (2013). Pro-environmental beliefs and behaviors: two levels of response to environmental social norms. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 45 (3), 435-446.
- [9] Amérigo, M., García, J. A., & Sánchez, T. (2013). Actitudes y comportamiento hacia el medio ambiente natural. *Salud medioambiental y bienestar emocional. Universitas Psychologica*, 12(3), 845-856.
- [10] Miguens, M. J. L., González, P. Á., Vázquez, E. G., & Rodríguez, M. J. G. (2015). Medidas del comportamiento ecológico y antecedentes: conceptualización y validación empírica de escalas. *Universitas Psychologica*, 14 (1), 189.
- [11] Briñol, P., Horcajo, J., Valle, C., & De Miguel, J. M. (2007). Cambio de actitudes a través de la comunicación. *Psicología Social*, 491-516.

Actitud ambiental de aspirantes a ingresar a una Institución de Educación Superior

¹Alejandro Ruiz Bernés, ²Manuel Rosales Flores, ³Salvador Ruiz Bernés

¹Universidad Autónoma de Nayarit, Programa Académico de Licenciatura en Nutrición, Cd. de la Cultura “Amado Nervo”, C.P. 63155, Tepic, Nayarit. E-mail: abernes@uan.edu.mx

²Instituto de Estudios Tecnológicos y Superiores “Matatipac” A.C. ³Universidad Autónoma de Nayarit

Resumen

El presente estudio consistió en medir la actitud ambiental en aspirantes que realizan el curso de ingreso por primera vez en una Institución de Educación Superior, haciendo uso de un cuestionario elaborado especialmente para este estudio y diseñado con escalamiento tipo Likert. Esta investigación se realizó bajo el enfoque cuantitativo, no experimental transversal descriptivo; respecto a las opiniones de los 302 aspirantes participantes se mostraron claramente similitudes y diferencias referente a la educación y actitud ambiental: 179 hombres y 123 mujeres de entre 17 y 25 años de edad. Al inicio del curso de ingreso se aplicó un cuestionario de 15 ítems con cinco categorías de respuesta. Los resultados se analizaron en función del género, edad y carreras. Los resultados indicaron que los estudiantes de género masculino tienen un nivel de cultura regular, al tener una media de actitud ambiental de 72.89 ± 10.49 [49.33-98.66], mientras que las mujeres indicaron tener mayor actitud ambiental al presentar una media de 77.83 ± 10.52 [45.33-97.32].

Palabras clave: *Actitud ambiental, Comportamiento, Educación ambiental, Educación superior, Medio ambiente.*

1. Introducción

Una de las principales preocupaciones de la humanidad es la problemática ambiental, producto del uso exacerbado e irracional de los recursos naturales por parte del hombre. El reto para los académicos, investigadores, expertos, activistas, entre otros, es fomentar la cultura ambiental en las personas y organizaciones, a fin de abordar, analizar, comprender y solucionar los problemas ambientales del planeta, que afronta la sociedad actual [1]. Se puede apreciar la falta de interés en educación ambiental, lo cual genera la oportunidad de crear mayor conciencia ambiental en las personas. La preocupación existente a favor del medio ambiente no es directamente proporcional a los hechos que se realizan en su contra, basta con mirar a nuestro alrededor para dar cuenta de este efecto.

La sociedad actual comienza a darse cuenta de la necesidad de detener o revertir la destrucción de los ecosistemas, ya que éstos están llegando, o ya rebasaron, su capacidad máxima de autolimpieza y regeneración entre otros factores, dando lugar a que los estudiantes tengan menor contacto con la naturaleza y así una relación armónica entre el ambiente y las actividades cotidianas [2]. La cultura ambiental implica un cambio en la concepción del hombre, del entorno y de quienes lo rodean. Las Instituciones de Educación Superior (IES) se convierten en gestores y actores fundamentales y estratégicos de este proceso de transformación, en cuanto a la preparación de ciudadanos comprometidos con el ambiente, promotores de una cultura ambiental y capaz de tomar decisiones que contribuyan al desarrollo sostenible.

Cabe señalar que en las diferentes declaraciones de la Conferencia de las Naciones Unidas, la educación, la sostenibilidad, la necesidad de una nueva cultura ambiental y el medio ambiente humano son una preocupación mundial desde el siglo pasado. Es por ello que desde el año de 1972 se proclama la importancia y necesidad de mejorar el ambiente a través de la educación:

“Principio 19. Es indispensable una labor de educación en cuestiones ambientales, dirigida tanto a las generaciones jóvenes como a los adultos (...), para ensanchar las bases de una opinión pública bien informada y de una conducta de los individuos, de las empresas y de las colectividades inspirada en el

sentido de su responsabilidad en cuanto a la protección y mejoramiento del medio en toda su dimensión humana” [3].

Zamorano [4] expresa que los problemas ambientales (contaminación, generación de basura, alto consumo de energía e insuficiente agua potable), producen mayor impacto, pues la mayoría de las veces no aparecen como situaciones independientes, sino que constituyen problemas que se relacionan entre sí: individuales, sociales y gubernamentales. González [5] señala que el primer paso para contrarrestar esta problemática, es planear adecuadamente programas de formación integral sustentables. El modelo de desarrollo económico actualmente prevaleciente, con su particular modo de concebir, aprovechar y usar los recursos naturales, ha dado lugar a una problemática ambiental de carácter global debido al deterioro, la degradación y la destrucción generalizada de los ecosistemas y de los servicios ambientales que proporcionan, en una magnitud tal que ha llegado a comprometer la sobrevivencia misma de la especie humana sobre la Tierra [6].

La Educación Ambiental es definida por diferentes autores como “una estrategia global para el mejoramiento de la calidad de vida y el ambiente” [7]. México, al ser una economía emergente, sumergido en un paradigma tecnológico y forzado por la globalización de buscar ser una economía sólida a través de la expansión de la industrialización, sobre una política inadecuada de explotación de los recursos naturales, en la que la expansión de las actividades agrícolas, ganaderas, forestales y pesqueras han creado desequilibrios y daños ecológicos. En los últimos años se observa una tendencia a abordar el problema desde la perspectiva del consumo sustentable, con lo cual se ha avanzado en la sensibilización de la población a partir de la comprensión de la relación consumo-generación de residuos, así como de los costos económicos del manejo y disposición final de los residuos sólidos, y de los impactos en el medio ambiente [8].

Es necesario medir la actitud ambiental en aspirantes de nuevo ingreso de las IES como resultado de un diagnóstico de los conocimientos sobre el medio ambiente de su población, así como de las condiciones particulares que han influenciado en la planeación de estrategias didácticas, dentro y fuera del aula, que fomenten buenos valores, desarrolle habilidades y competencias transversales para implementar acciones conservacionistas y ambientales [9]. Zamorano [10] describe que para esto es indispensable la implementación en todas las IES la educación ambiental y, por otro lado, observarse como principio la incumbencia para los distintos sectores y grupos sociales.

2. Metodología

Esta investigación tuvo por objetivo medir la actitud ambiental en aspirantes de nuevo ingreso de una IES de la ciudad de Tepic, Nayarit, México. El estudio es de enfoque cuantitativo, no experimental, transversal descriptivo. Se aplicó el instrumento a un total de 302 aspirantes, con una muestra de tipo homogénea. Para esta investigación se ha construido un instrumento de medición con el objetivo de valorar las actitudes de los aspirantes de nuevo ingreso hacia el medio ambiente. Los ítems del instrumento se construyeron con fundamento a la revisión teórica, sometiéndose posteriormente a una revisión de expertos, para su aplicación a una muestra de sujetos semejantes al estudio, cumpliendo así la fase de prueba piloto. El instrumento está dividido en dos secciones, la primera corresponde a los datos generales (fecha de entrevista, edad, sexo y nivel de estudios), y la segunda sección está integrada con 15 ítems mediante escalamiento tipo Likert, con cinco categorías de respuesta (muy de acuerdo, de acuerdo, indiferente, en desacuerdo y muy en desacuerdo).

2.1 Análisis de datos

El análisis de los datos se realizó mediante el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales versión 23 (SPSS por sus siglas en inglés) presentando los resultados a través de estadística descriptiva para medir claramente las diferencias o similitudes de los ítems relacionadas con el medio ambiente.

3. Resultados y Discusión

En la **Tabla 1** se muestra el total de 302 (100%) aspirantes, de los cuales 179 (59.30%) son del género masculino y 123 (40.70%) son del género femenino.

Tabla 1. Número de aspirantes por género.

Género	N	%
Masculino	179	59.30
Femenino	123	40.70
Total	302	100.00

En la **Tabla 2** se puede apreciar la clasificación de los aspirantes respecto a la edad, de los cuales el 18.50% son de 17 años, el 65.60% son de 18 años y el 10.90% son de 19 años.

Tabla 2. Clasificación de los aspirantes por edades.

Edad en años	N	%
17	56	18.50
18	198	65.60
19	33	10.90
20-25	15	5

En la **Tabla 3** se muestra el número de aspirantes por carrera elegida. Las carreras con mayor número de aspirantes son la de Arquitectura con 78 casos (25.80%) y la de Ingeniería Civil con 66 casos (21.90%), de ahí le siguen Sistemas Computacionales con 28 casos (9.30%), Administración y Gestión Empresarial con 26 casos (8.60%) por igual y el resto de las carreras con 13 casos (4.30%) cada una.

Tabla 3. Número de aspirantes por carrera.

Carreras	N	%
Arquitectura	78	25.80
Sistemas computacionales	28	9.30
Gestión empresarial	26	8.60
Información	13	4.30
Bioquímica	13	4.30
Civil	66	21.90
Eléctrica	13	4.30
Industrial	13	4.30
Mecatrónica	13	4.30
Química	13	4.30
Administración	26	8.60

En la **Tabla 4** los resultados muestran que los aspirantes de género masculino que realizaron el curso para ingresar por primera vez a la IES obtuvieron una media de actitud ambiental de 72.89 con una desviación estándar de ± 10.49 , esto debido a que hubo estudiantes que indicaron no tener interés en realizar una o más acciones a favor del medio ambiente, generando un intervalo mínimo y máximo de entre 49.33 y 98.66. Respecto al género femenino, el resultado indica que tiene mayor interés sobre el medio ambiente, a pesar de que este es representado por un 40.70% de la muestra y es de menor proporción que el género masculino con un 59.30%, por lo tanto, con base a la media se tuvo una actitud ambiental mayor que la de los hombres de 77.83 con una desviación estándar de ± 10.52 y un intervalo mínimo y máximo de entre 45.33 a 97.32.

Tabla 4. Estadística descriptiva de la actitud medioambiental por género.

Actitud medioambiental	Estadísticos*
Masculino	72.89±10.49[49.33-98.66]
Femenino	77.83±10.52[45.33-97.32]
Total	74.90±10.76[45.33-98.66]

* $\bar{X} \pm DE[Min - Max]$

Para conocer lo referente al promedio general por carrera se puede observar en la **Figura 1** una media de actitud ambiental de 74.90, lo cual demuestra que los aspirantes de la IES reflejan una capacidad de percepción ambiental, porque identifican la problemática ambiental actual.

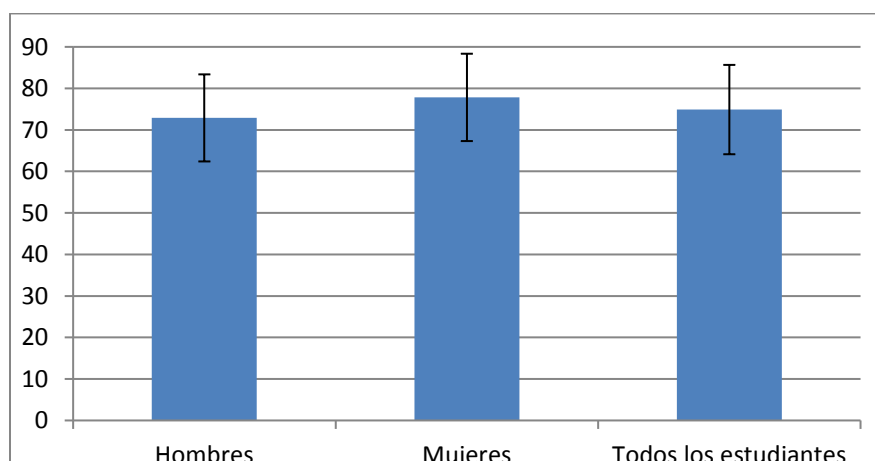


Figura 1. Actitud ambiental por género.

En la **Tabla 5** se refleja que los aspirantes de 18 años son los de mayor representación, sin embargo, los aspirantes de entre 20 y 25 años de edad son los que muestran una mayor actitud ambiental con una media de 77.15 y una desviación estándar de ±9.11 y un intervalo mínimo de 67.99 y un máximo de 90.66.

Tabla 5. Estadística descriptiva de la actitud medioambiental por edad.

Edad en años	Estadísticos*
17	74.61±9.81[55.99-98.66]
18	75.05±10.91[45.33-97.32]
19	74.21±11.15[54.66-98.66]
20-25	77.15±9.11[67.99-90.66]

* $\bar{X} \pm DE[Min - Max]$

En la **Tabla 6** claramente se puede apreciar que la carrera de Bioquímica está por recibir a los aspirantes con mayor actitud ambiental con 80.91±9.19[67.99-94.66], seguido por las carreras de Administración 78.55±10.48[58.66-95.99], Arquitectura 77.01±10.87[53.33-98.66] y Gestión Empresarial 76.30±12.53[45.33-98.66], el resto de las carreras esta gradualmente por debajo de los anteriores, lo cual refleja que los aspirantes tienen una menor actitud ambiental.

Tabla 6. Estadística descriptiva de la actitud medioambiental por carrera.

Carreras	Estadísticos*
Arquitectura	77.01±10.87[53.33-98.66]
Sistemas computacionales	73.37±9.79[53.33-86.66]

Gestión empresarial	76.30±12.53[45.33-98.66]
Información	74.24±10.87[54.66-94.66]
Bioquímica	80.91±9.19[67.99-94.66]
Civil	72.59±9.63[49.33-97.32]
Eléctrica	69.42±12.57[51.99-95.99]
Industrial	70.14±7.60[53.33-81.33]
Mecatrónica	72.40±13.12[57.33-90.66]
Química	74.55±9.13[54.66-86.66]
Administración	78.55±10.48[58.66-95.99]

* $\bar{X} \pm DE[Min - Max]$

Vargas, Medellín, Vázquez y Gutiérrez [11] detectaron que los estudiantes de nivel superior en México presentaban actitudes ambientales ecologistas, lo que estaba estrechamente relacionado con el desarrollo de la conciencia ambiental. La educación en la responsabilidad ambiental puede alentar diversos comportamientos que tienen una incidencia directa e importante en el cuidado del ambiente, como: reducir el uso de plásticos, reducir la generación de residuos sólidos domiciliarios (RSD), separar en origen los RSD, reutilizar, reciclar, reducir el consumo de agua, incentivar el consumo responsable, proteger y valorar las especies endémicas, entre otros [12].

Por ello, es de gran importancia estudiar y medir la variable actitud ambiental en el aspirante de nuevo ingreso de nivel superior, pues somos producto del aprendizaje familiar y cultural imperante en el país, por lo que el resultado de éste trabajo contribuirá con elementos para posteriormente desarrollar metodologías hacia una propuesta de prevención y solución a la contaminación del medio ambiente. Onaindia et al. [13], consideran que los centros de enseñanza de nivel superior debe ser una parte importante donde se generen conocimientos, actitudes y valores necesarios para crear un futuro mejor y encaminar hacia un desarrollo sostenible.

La educación ambiental ha sido definida como “el proceso de adquisición de valores y clarificación de conceptos cuyo objetivo es desarrollar actitudes y capacidades necesarias para entender y apreciar las interrelaciones entre el hombre, su cultura y su entorno biofísico”. Es importante que se continúe con la promoción de la educación ambiental, sobre todo en las IES, el cual es un proceso para que los estudiantes generen una sensibilización hacia la necesidad de cuidar el medio ambiente. No obstante, la educación ambiental debe también modificar actitudes y proporcionar nuevos conocimientos y criterios más allá de los conceptos puramente ecológicos [14]. Quienes han afirmado acerca del efecto favorable que promueven las charlas y el desarrollo de temas con los universitarios, en el sentido que ellos tomen el papel más importante para mejorar conocimiento del medio ambiente, de adquirir habilidades apropiadas para utilizar este conocimiento y de iniciar acciones tendientes a un uso sensato del medio ambiente sin perturbar el equilibrio ecológico [15].

Los resultados del género femenino muestran mayor cultura respecto al cuidado del medio ambiente, lo cual propone futuras investigaciones con perspectiva de género, sin duda alguna acrecentaría y las enriquecería acerca del cuidado a la ecología. Alguno investigadores han encontrado que el género tiene que ver con el nivel de actitud ambiental, por ejemplo, Oliver [16] refiere en su estudio que las mujeres perciben un mayor grado de preocupación relacionados con los problemas ambientales y puede apreciar que están dispuestas a realizar acciones proambientales mostrando un índice ligeramente superior a las actuaciones respetuosas con el ambiente. En contraparte Zamorano et al [17], expresan que el nivel de preocupación por el medio ambiente es mayor en los varones que en las mujeres. Posiblemente sea la cultura e idiosincrasia la que genere estas variaciones en diferentes estudios, teniendo para este caso en particular que el nivel de actitud ambiental para las mujeres es ligeramente superior que para los hombres, muy similar a los resultados expuestos por Oliver [16]. Por ello, la importancia de estudiar y medir la variable actitud ambiental en nuestra sociedad como producto de un aprendizaje familiar y cultural.

4. Conclusiones

Considerando los resultados y finalidad del estudio, es necesario resaltar que para construir una propuesta asertiva de prevención-solución y evitar la contaminación del medio ambiente se requiere mejorar el conocimiento en la educación ambiental que tienen los aspirantes, proporcionando una formación que incluya aspectos de la situación actual, a nivel local, regional y global. Al analizar los resultados de manera general, se observa que los estudiantes están conscientes de la situación actual del medio ambiente, entendiéndose que son producto de los cambios drásticos e inconscientes que el ser humano está realizando sin considerar la sustentabilidad. Se refleja también un menor interés de los hombres en relación a las actitudes ambientales. Es importante indicar que, a pesar de todo, la juventud, específicamente los aspirantes de nuevo ingreso a una IES, mostraron estar dispuestos a mejorar su actitud en beneficio de un mejor medio ambiente. Para lograr una sustentabilidad ambiental es sumamente necesario la participación pro activa de toda la sociedad, en todos los niveles y en todas las áreas de desarrollo. Es responsabilidad de todos, gobiernos, empresas públicas y privadas, sociedad en general, lograr un equilibrio ambiental con amplio criterio y respeto de nuestro entorno.

Sin duda alguna, la educación en general puede desencadenar un despertar de actitudes en los aspirantes a las IES, fortalecer su crecimiento moral; se deben transmitir buenos valores y excelentes comportamientos a través de una educación ambiental pro positiva, que incluya acciones como realizar un estudio con el propósito de medir, ya no solamente las actitudes, pues aunque sabemos que éstas son una guía para el comportamiento, no son garantía de ello, sino las acciones o conductas específicas en las que están involucrados los aspirantes a favor del medio ambiente.

Es importante generar acciones para el cuidado del medio ambiente y recursos naturales mediante el diseño de una estrategia didáctica, dentro y fuera del aula, que fomente valores y desarrolle habilidades para acrecentar acciones conservacionistas y ambientales; realizar audiencias públicas sobre ecología y actitudes ambientales; desarrollar e implementar proyectos ambientales escolares en los que expliquen los factores naturales, sociales y sus relaciones. Es necesario mejorar el medio ambiente con un compromiso individual para el logro de un objetivo en común y en conjunto con las instituciones de educación, dependencias gubernamentales y con organizaciones civiles.

La promoción de la educación ambiental se orienta a la reflexión sobre lo ambiental con un carácter sensibilizador, que fortalece una conciencia por la supervivencia y un juicio ético de las posiciones que ocupan cada uno de los seres vivos en relación con los otros seres vivos y elementos que están sobre el planeta Tierra. Es claro que el conocimiento sobre el medioambiente fomentaría la formación de conciencia del impacto de las actividades antrópicas, sobre los ecosistemas y sus efectos sobre el bienestar humano. A su vez, la conciencia ambiental conlleva a valorar los diferentes ecosistemas, lo que debería conducir a la adopción de una actitud y toma de acciones ecológicas y sustentables, dando soporte a un modelo de orden jerárquico sobre *conocimiento-conciencia-valor-actitud-acción*.

Referencias

- [1] Ruiz, A. d. C. B., et al. (2015). "Retos en el abordaje de la cultura ambiental: las universidades y su apuesta al desarrollo sostenible." Tomo 19.
- [2] González-Cortés N. (2012). El huerto ecológico y el sistema 10R: un recurso didáctico para fomentar educación ambiental en la escuela. *Revista Diálogos* 39(1) 14-18.
- [3] United Nations Environment Programme (2016). "Stockholm 1972" [Online]. Available: <<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=97>>. [Accessed: 29- May-2016].
- [4] González, B. Z., et al. (2009). "Percepción ambiental en estudiantes de secundaria/Environmental perception at middle school students." *Revista Actualidades Investigativas en Educación* 9(3).

- [5] González, Cortés N. (2011) Desarrollo de la inteligencia naturalista con el huerto escolar ecológico. En Memoria del VIII Congreso Internacional de Educación Ambiental en La Habana, Cuba. pp. 480-502. Didáctica Ambiental nº 11. Junio 2012. Páginas 28-35.
- [6] Nellemann, C. y Corcoran, E. (Eds.) (2010). Dead planet, living planet. Biodiversity and ecosystem restoration for sustainable development. A rapid response assessment. United Nations Environment Programme, Noruega: Birkekand Trykkeri.
- [7] Chacon, Rosa María, Montbrun, Nila y Rastelli, Victoria. (2009); La educación para la sostenibilidad: Rol de las universidades. Argos. (Online). Jun. 2009, vol.26, no.50, p.50-74. ISSN 0254-1637.
- [8] SEMARNAT (2006). "Estrategía de Educación Ambiental para la Sustentabilidad en México." Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: 254.
- [9] Sosa S. B., Márquez R. I., Eastmond A, Ayala M. E. y Arteaga M.A. (2010) Educación superior y cultura ambiental en el sureste de México. Universidad y Ciencia. 26(1)1-18.
- [10] Zamorano, González, B., Parra Sierra, V., Peña Cárdenas, F., Castillo Muraira, Y., y Vargas Martínez, J. I. (2009). Percepción ambiental en estudiantes de secundaria. Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación". , 9 (3)1-18.
- [11] Vargas, C., Medellín, J., Vázquez, L. y Gutiérrez, G. (2011). Actitudes ambientales en los estudiantes de nivel superior en México. Luna Azul, 33, 31-36.
- [12] Castillo, F. y Fuentealba, M. (2014). Compendio de buenas prácticas ambientales. Talca, Chile: Ediciones Universidad Católica del Maule.
- [13] Onaindia, M., y Ibabe, A. (2008). Relación entre conocimiento y actitudes hacia la sostenibilidad de estudiantes universitarios. Cátedra UNESCO de Desarrollo Sostenible y Educación Ambiental. (págs. 97-114). País Vasco: Universidad del País Vasco.
- [14] Villegas, G., y López, M. A. (2006). ¿Es posible el desarrollo sostenible? Acercamientos Conceptuales a la relación ambiente desarrollo y Economía. Luna Azul, 1-9.
- [15] Espejel, A., y Castillo, M. I. (2008). Educación Ambiental para el nivel medio superior: propuesta y evaluación. Revista Iberoamericana de Educación, 46(2), 1-11.
- [16] Oliver Trobat, Miguel; Castells Valdivieso, Margalida; Casero Martínez, Antonio y Morey López, Merce. (2005). Actitud y percepción del medio ambiente en la juventud española. España: Ministerio de Medio Ambiente.
- [17] Zamorano, González, B., Parra Sierra, V., Peña Cárdenas, F., Castillo Muraira, Y., y Vargas Martínez, J. I. (2009). Percepción ambiental en estudiantes de secundaria. Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación". , 9 (3)1-18.

Iniciativas de comunicación ambiental en el Estado de Jalisco para mitigar los daños a la salud por la transición a la televisión digital en México.

C. Jessica Carmona Holley, Lic. Sofía C. Chávez Arce, Biol. Nayla Campos Valadéz
Casa Cem- Vías Verdes A.C., Av. Chapultepec 376 Colonia Moderna
Guadalajara, Jalisco, México C.P. 45190, tel. 52 33 36154499, electroacopiojalisco@gmail.com

Resumen

Con el fin de mitigar los efectos adversos a la salud derivados del desecho y desensamble incontrolado de los televisores analógicos por el cambio a la televisión digital terrestre en México, Casa Cem – Vías Verdes A.C. llevó a cabo el diseño e implementación de una campaña de comunicación ambiental durante el año 2015, alertando y exhortando a la población jalisciense a hacer un manejo adecuado de los televisores analógicos que saldrían en desuso. Se realizó el diseño e impresión de folletos, infografías y lonas educativas, y el diseño y grabación de cápsulas para radiodifusión y video, materiales dirigidos al sector más vulnerable a sufrir daños a su salud dentro de la población de Jalisco. Se realizó la invitación a difundir el material elaborado al gobierno del Estado de Jalisco, juntas intermunicipales, municipios, cámaras empresariales, empresas, instituciones académicas y religiosas, organizaciones de la sociedad civil, empresas paraestatales, y medios de comunicación impresos y de radiodifusión públicos y privados.

Salvo contadas excepciones, gobiernos estatal y municipales – por escasez de recursos humanos y económicos – dieron un seguimiento escaso a la campaña. La respuesta de la mayoría de las empresas del sector privado (tanto empresas de servicios o productivas como medios de comunicación) demostraron falta de interés y cooperación. Los aparatos burocráticos de las empresas paraestatales fueron infranqueables. Los sectores más participativos fueron las pequeñas empresas, las organizaciones de la sociedad civil, los medios radiofónicos de la Universidad de Guadalajara, el sistema de radio estatal y la organización eclesial.

Palabras clave: *apagón analógico, comunicación ambiental, televisores analógicos, transición a la televisión digital terrestre.*

1. Introducción

La transición de la tecnología de señal analógica a la señal digital en los receptores de televisión es una tendencia mundial [1]. Para los gobiernos nacionales este cambio ha implicado la búsqueda de estrategias para, por un lado garantizar el acceso a la información a la población, y por otro lado mitigar la problemática del desecho de millones de televisiones analógicas. En el año 2009, durante la experiencia de dicha transición en los Estados Unidos de Norteamérica, el apagón analógico debió de ser pospuesto hasta en tanto se resolvieran cuestiones presupuestales que permitieran dotar de vales a la ciudadanía para facilitar la adquisición de aparatos decodificadores para conectar a sus televisiones analógicas [2]. Esta estrategia permitió prolongar el tiempo de vida de los receptores analógicos, mitigando así su entrada en el flujo de los residuos. Con anterioridad, ya los países europeos habían optado también por dar facilidades a la población para la obtención de decodificadores de señal.

En el caso de México, en la publicación del Diario Oficial de la Federación (DOF) del 13 de mayo del 2014 llamada “Programa de Trabajo para la Transición a la Televisión Digital Terrestre (TDT) [3], se mencionó oficialmente, y por primera vez, la entrega de televisores digitales a la población para hacer frente al proceso de transición. Contrario a las experiencias de otros países que ya habían vivido el proceso, México optó por ser el primer país en dotar gratuitamente de televisiones digitales a la población. En dicho año se inicia la entrega de aproximadamente 10 millones de televisiones digitales a hogares de escasos recursos en el país. Sin embargo, las autoridades federales no establecieron en su momento un programa integral y eficiente

para la gestión de las televisiones analógicas que pudieran desecharse producto de este programa, ni un presupuesto correspondiente. No fue sino hasta el 24 de junio del 2015, más de un año después de haber dado inicio al reparto de televisores digitales, que se dio a conocer el Programa Nacional para la Gestión Integral de los Televisores Desechados por la Transición a la Televisión Digital [4], documento que difundieron conjuntamente la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Dicho programa presenta graves vacíos, irregularidades de cumplimiento legal nacional e internacional, confusión de atribuciones entre ambas secretarías y un presupuesto muy limitado para la dimensión de la problemática a enfrentar. Presupuesto que además no fue distribuido a los Estados y municipios [5]. El programa tampoco se hizo acompañar de una estrategia de comunicación ambiental. Dicha situación ha generado una problemática de desecho y manipulación inadecuada de millones de residuos de aparatos de televisiones analógicas en México y sus subsecuentes consecuencias a la salud y al ambiente.

Según la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares 2014, publicada por el INEGI [6], se estima que en Jalisco al 2014 había un total de 2'613,436 televisiones analógicas distribuidas en los hogares, de las cuales 1'427,486 dependían de la señal analógica para funcionar, por lo tanto, éstas serían las que dejarán de recibir señal una vez que ésta fuese apagada. Estudios científicos comprueban que en promedio una televisión analógica contiene 1.96 kg de óxido de plomo [7], [8], por ende, se calcula que el óxido de plomo que pudiera haber quedado expuesto al ambiente estaría en un rango de 2,795 a 5,117 toneladas de no llevarse a cabo una gestión adecuada de los televisores analógicos [9]. Otra sustancia para considerar de riesgo son los retardantes de flama bromados contenidos en sus partes plásticas, mismos que se encuentran amparados bajo el Convenio de Estocolmo cuya finalidad es la protección a la salud humana y el medio ambiente frente a los Contaminantes Orgánicos Persistentes. Según la organización mundial de la salud, la exposición al óxido de plomo puede generar graves daños al ambiente y a la salud [10]. Estudios científicos comprueban que el contacto con los retardantes de flama bromados también representan un riesgo a la población [11].

Ante la ausencia de un programa robusto y suficiente para la gestión integral de las televisiones analógicas al final de su vida útil acompañado de una estrategia de comunicación ambiental correspondiente, fue necesario diseñar y aplicar una campaña de comunicación ambiental como la medida más viable para mitigar la problemática.

2. Metodología

El presente trabajo se realizó en diferentes municipios del Estado de Jalisco en los que se había percibido el riesgo del desecho inadecuado de los televisores analógicos, implicando posibles daños a sus comunidades vulnerables.

El objetivo general fue generar y aplicar estrategias de comunicación ambiental para mitigar los daños a la salud y al ambiente, consecuencias del desecho inadecuado de televisiones analógicas.

Para el diseño del programa de comunicación ambiental se siguieron los siguientes pasos:

Se realizó el Taller para la elaboración de la estrategia de educación y comunicación del Electroacopio 2015 en el que se definieron los pasos a seguir por el Comité de Comunicación y Educación del Programa Electroacopio Jalisco [12].

Primeramente se asignó un logo y slogan a la campaña Electroinformo. El Slogan fue: “Me informo porque me importa mi entorno.”

Posteriormente se diseñó material de comunicación gráfica para cinco tipos de residuos prioritarios, dentro de los que se incluyeron los residuos de las televisiones analógicas (Figura 1.).

A partir de este punto se tomó como base el material de comunicación gráfica y se establecieron diversos métodos para difundir la información: una infografía, un folleto y un spot de radio.



Figura 1. Folleto e infografía sobre los residuos de televisores analógicos

En enero del 2015 se realizaron siete talleres regionales dentro del Estado de Jalisco a los que acudieron servidores públicos municipales y grupos de sociedad civil organizada.

El objetivo general de los talleres fue generar y fortalecer capacidades de los actores clave de los municipios para la atención de temas ambientales y sensibilizar sobre los residuos electrónicos, así como otros residuos de manejo especial. Se hizo uso de dinámicas didácticas y educativas para lograr el análisis y comprensión por parte de los participantes sobre la problemática generada por el manejo y disposición inadecuada de los residuos electrónicos. Así mismo, se obtuvieron herramientas de apoyo para el manejo de la información y la difusión del mensaje oportuno hacia la ciudadanía. El material que se diseñó quedó a la disposición de los asistentes y sus ayuntamientos y se entregó en versión digital a los funcionarios y organizaciones de sociedad civil de 62 municipios del Estado de Jalisco.

Tras haber analizado los resultados de Electroacopio y ante el inminente apagón analógico que concluyó en diciembre del año 2015, se amplió la campaña y se modificaron los materiales de comunicación para reorientarlos a dos grupos sociales: los recicladores informales de residuos electrónicos y la población vulnerable a desechar sus televisores en la vía pública o al camión recolector. Con este fin, el 14 de septiembre de 2015, se realizó el brief creativo por parte de la Coordinación General de Casa Cem donde se realizó el diseño de dos infografías con enfoques distintos:

- “DON NACHO SACA EL COBRE” dirigido a los chatarreros o recicladores informales, con el objetivo de desincentivar la separación de las partes de las televisiones analógicas para la obtención del cobre, y para concientizar sobre el riesgo a la salud generado al romper las televisiones.
- “EN ESTA ESQUINA... LA TELE DE DON TOÑO,” se orientó a la ciudadanía vulnerable con el fin de informar sobre la posibilidad de continuar utilizando los televisores analógicos con el uso de decodificadores y/o la contratación de televisión por cable; y sobre la posible liberación de sustancias tóxicas contenidas en ellos al ser desechados incorrectamente.

En la Figura 2. se observan las infografías generadas en las cuales se hizo uso de un lenguaje sencillo y coloquial.

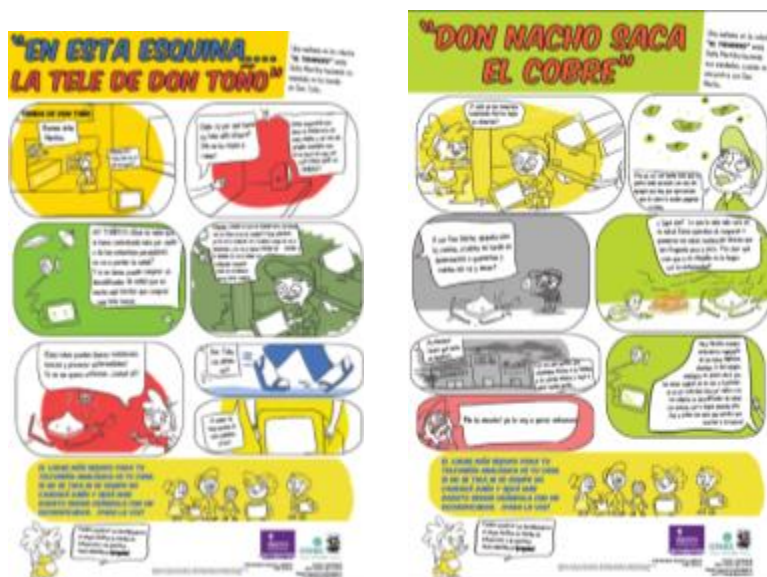


Figura. 2. Carteles informativos “Don Nacho saca el cobre.” Y “En esta esquina... La tele de Don Toño.”

Adicionalmente se diseñaron y grabaron tres spots para radio de 30 segundos de duración [13] - [15]. También se elaboraron dos videos para difusión digital [16], [17].

3. Resultados y discusión

Campaña Electroinformo

La campaña se aplicó dentro del programa Electroacopio 2015 en el que se capacitó a servidores públicos como facilitadores de procesos de comunicación ambiental hacia la población. A pesar de su entusiasta participación en los siete talleres regionales, los servidores públicos no lograron llevar a cabo las actividades planeadas entre su población de manera exhaustiva. Del total de sedes municipales evaluadas, el 58% no realizó ninguna actividad, y solo el 42% realizó actividades correspondientes a la campaña Electroeducó. Los materiales que se utilizaron entre los municipios activos se muestran en la Figura 3:

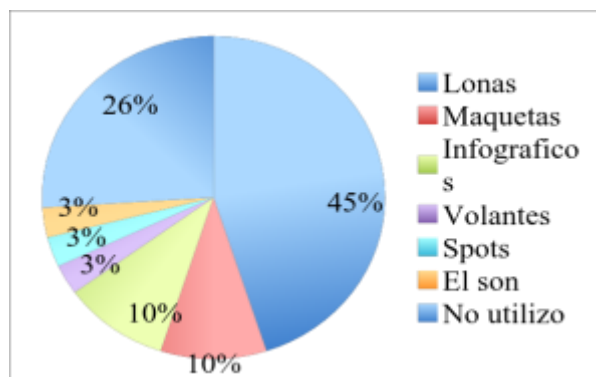


Figura 3. Materiales utilizados durante la campaña Electroinformo

Del total de municipios participantes en los talleres, solamente el 1% realizó alguna actividad adicional a la exhibición de las lonas informativas; este 1% se caracterizó por tener poblaciones pequeñas: Mascota, Tolimán, Zapotitlán de Vadillo y Unión de Tula. El resto de los municipios refirieron limitaciones de recursos presupuestales, recursos humanos, y recurso tiempo por la carga de trabajo operativo que se dijo tener.

Difusión de infografías de Don Toño y Don Nacho

Las infografías digitales de “Don Toño y Don Nacho,” sus respectivos spots y videos digitales fueron facilitados a los 62 municipios del Estado de Jalisco participantes en el Electroacopio Jalisco 2015, a las Juntas y Sistemas Intermunicipales y a la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial de Jalisco. Adicionalmente se imprimieron un total de 2,400 infografías con el propósito de ser colocadas en puntos con gran afluencia de personas como las estaciones del tren eléctrico, oficinas para trámites o pagos de dependencias gubernamentales (CFE, SIAPA, etc.) e iglesias. Sin embargo, los acercamientos con la mayoría de estas instituciones no fueron de éxito. Esto se puede atribuir a distintas causas, desde conflictos de intereses como fue el caso de la CFE, la falta de un respaldo por parte de su estructura organizacional, o un simple desinterés o indiferencia hacia el tema.

Dada la situación, se redirigió el esfuerzo para abarcar a todo tipo de instituciones y organizaciones en el que se les envió una carta para solicitar apoyo con la exhibición de las infografías. No se logró contactar a tres organizaciones, 15 no dieron respuesta, cuatro negaron el apoyo y 18 brindaron su apoyo realizando el reparto y pegado de infografías dentro de sus empresas, sedes o núcleos de trabajo. En la tabla 1 se ilustra el total de infografías repartidas por sector.

Tabla 1. Total de infografías repartidas por sector

Reparto de infografías por sector		
Sector	Cantidad	%
Organizaciones de la Sociedad Civil	532	22.17%
Sector Privado	66	2.75%
Sector Público	4	0.17%
Organizaciones Eclesiales	1798	74.92%
Total	2,400	100%

Organizaciones eclesiales

Las organizaciones eclesiales brindaron un apoyo importante. A través de ellas se logró colocar infografías en 570 parroquias de Guadalajara, Tlaquepaque, Zapopan, Tonalá, La Barca y Chapala. Se publicó información en el semanario impreso de las parroquias, se llegó a todos los centros de atención de Cáritas y del Banco de Alimentos.

Apoyo de COPARMEX

La Confederación Patronal de la República Mexicana (COPARMEX) publicó una nota en su gaceta mensual en la que se difundió la información sobre los riesgos generados por el desecho inadecuado de los televisores analógicos además de incluir ambas infografías en su boletín digital.

Difusión de spots radiofónicos Don Toño y Don Nacho.

Se estableció contacto con 17 radiodifusoras en Guadalajara y con la Asociación de Radiodifusoras y Televisoras de Occidente (RATO), con quienes se buscó gestionar la difusión de los 3 spots para radio de manera gratuita a través de una carta petición explicando la importancia de alertar a la población y se dió seguimiento vía telefónica. Se obtuvo respuesta inicial por parte de ocho radiodifusoras y posteriormente se perdió el contacto con ellas, se recibió negativa de dos de ellas y se obtuvo el apoyo de siete.

Para la Asociación de Radiodifusoras y Televisoras de Occidente (RATO), no fue posible ofrecer apoyo dado que dijeron no poseer minutos para donativos.

3.4 Visualización de videos digitales

Por medio de la herramienta digital YouTube se difundió el material creado, y se hizo mención a ellos en redes sociales. El video “En esta esquina...la tele de Don Toño” tuvo 135 vistas y “Don Nacho saca el cobre” 140.

3.5 Menciones y entrevistas en medios de comunicación

Como parte de la difusión, se realizaron diversas entrevistas en televisión y radio.

- En el canal 44, canal de la Universidad de Guadalajara, se realizaron las siguientes entrevistas:
 - El 13 marzo del 2015, se realizó una entrevista en el programa RUTA 44, mismo que fue transmitida tres veces. Además de la audiencia en vivo, el video se publicó en la herramienta digital YouTube y logró obtener 1.034 vistas [18].
 - El 17 de marzo 2015 el periodista Agustín del Castillo realizó una entrevista corta para las noticias. Además de la audiencia en vivo, el video se publicó en la herramienta digital YouTube y logró obtener 143 vistas [19].
 - El 2 de marzo del 2015 se realizó una entrevista corta para las noticias. Además de la audiencia en vivo, el video se publicó en la herramienta digital YouTube y logró obtener 97 vistas [20].
 - El 25 de marzo del 2015, se realizó una entrevista en el programa Ángulos. Además de la audiencia en vivo, el video se publicó en la herramienta digital YouTube y logró obtener 20 vistas [21].
- El 25 de noviembre de 2015 se tuvo una entrevista con Ernesto Villalpando de Televisa Guadalajara, la cual se transmitió durante el mes de diciembre en el noticiero local de Televisa tres veces al día.
- El 27 de noviembre de 2015 se participó en un programa de radio con duración de 55 minutos en *La Exquisita Ignorancia* [22].
- El miércoles 09 de diciembre de 2015 se participó en un programa de radio en *El Expreso de las 10*, donde se compartió micrófono con el Maestro Eduardo Parra, Director de Gestión Integral de Residuos de la SEMADET.

A su vez, hubo menciones sobre el proyecto y/o los riesgos de la mala gestión de los televisores analógicos al medio ambiente y a la salud en al menos 9 diarios [23]-[31].

4. Conclusiones

Se puede concluir que se obtuvieron los siguientes resultados por sector:

- Servidores públicos municipales, estatales y sistemas intermunicipales de gestión de residuos tuvieron un participación pobre. Refirieron que esta fue causada, por limitaciones de recursos presupuestales (dado que estos no les fueron dotados por la federación), limitaciones de recursos humanos, y escaso tiempo para llevar a cabo estas funciones.
- Sector privado: fuera de la publicación de la nota en la gaceta de COPARMEX, las empresas contactadas para la distribución y exhibición de las infografías refirieron en general desinterés por el tema.
- Medios de comunicación: Las radiodifusoras más grandes no mostraron interés por el tema, y en la mayoría de los casos refirieron no poder donar pautas en las fechas decembrinas. Por su parte, C7 la difusora del Gobierno del Estado, el Sistema Universitario de Radio y Televisión (UDG), y las radios comunitarias o por internet, mostraron una gran apertura, preocupación e interés en apoyar la campaña, siendo que son los que gozan de menor presupuesto.

- Organizaciones civiles: No se obtuvo la respuesta esperada, lo cual se puede atribuir a las limitaciones de recursos humanos. Sin embargo, con el interés mostrado por parte de 7 organizaciones civiles, se logró colocar más del 20% del material impreso.
- Iglesia: El apoyo logrado a través de los grupos eclesiales fue sustancial accediendo a distribuir la información en las comunidades a su alcance y distribuyéndolos con su propia infraestructura de comunicación. Respecto al material impreso, ellos colocaron el 80% del mismo.

La dificultad más grande a la que se enfrentó esta campaña fue la falta de información en todos los niveles, y en menor escala, la falta de tiempo y de recursos de los contactados. Aun reconociendo que el universo poblacional era muy grande para sus posibilidades y al casi nulo presupuesto operativo con el que contó para el desarrollo de esta campaña, la organización Vías Verdes hizo su mejor esfuerzo para poder llegar a la población vulnerable al enfocarse a realizar una campaña masiva y económica solicitando donativos en especie.

No obstante, sigue existiendo un porcentaje elevado de la población que desconoce los posibles daños a la salud derivados de un mal manejo de estos aparatos, esto aunado al número de televisiones analógicas que aún se encuentran en los hogares y de todos los televisores que se han dejado abandonados en las calles, tirados en la basura o han llegado a manos de los recicladores informales. La falta de información y por consecuencia de cultura ambiental, se convierte en un factor de riesgo a la salud ambiental. Es por esto que la labor de divulgación de información y de educación ambiental deben ser temas prioritarios en las agendas de las administraciones públicas.

La experiencia de implementar esta campaña de comunicación ambiental deja en claro que para evitar en lo posible que las televisiones analógicas se hubieran convertido en un problema ambiental y de salud, se hubiese requerido de un programa de gestión integral de estos aparatos con recursos económicos suficientes para hacer frente al tamaño de la problemática además de un exhaustivo programa de comunicación ambiental que lo acompañase para mitigar la entrada de estos aparatos a la corriente de los residuos y evitar que terminaran en manos del reciclaje informal, en la basura común, abandonados en la vía pública o en los cuerpos de agua.

5. Agradecimientos

Queremos agradecer al equipo de educadores ambientales que trabajaron en la planeación educativa a Gabriela Pérez Carrillo, David Salvador Escandón Sandoval, Ana Flores, Vanessa Palacios Castillo, Araceli Fernández Torres y Eduardo Guerrero Blancas, a Cesar Montes Figueroa y a Luis Macías Raya quienes apoyaron con la difusión del material, a Rosalba Solórzano Aguirre, Alma Marisol de la Torre Murillo y Alfredivo Romano por la ilustración y el diseño del material gráfico, a Víctor Olvera por la elaboración de los videos, a Aurix estudio de grabación y a Begoña Lomelí Olivares por la grabación y voces de los spots, a Corporativa de Fundaciones por financiar parte del proyecto, a los municipios e intermunicipalidades participantes, a SEMADET, a las organizaciones de la sociedad civil y asociaciones civiles que se involucraron, a COPARMEX, a las empresas participantes, a Radio UDG y a C7 Jalisco, a las radiodifusoras que nos dieron espacio al aire, al Arzobispado y al Semanario Arquidiocesano de Guadalajara, a todo el equipo de Vías Verdes A.C. por su inquebrantable apoyo y a todos aquellos que por distraída omisión no citamos aquí. Sin ustedes, este trabajo no hubiera sido posible.

Referencias

- [1] Jenkins B (2010) "Digital dividend: when the E.U. gets it, what will it do with it?" *Video Age International*. 30.2 (March-April 2010): p26.
- [2] Hart, Jeffrey A. (2010) "The Transition to Digital Television in the United States: The Endgame" *International Journal of Digital Television*, 1 (2009), 7-29

- [3] Gobierno Federal. Programa de Trabajo para la Transición a la Televisión Digital Terrestre (TDT). (2014) En línea <http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5344585> Recuperado el 15 de julio de 2015.
- [4] SEMARNAT, SCT. Programa nacional para la gestión integral de los televisores desechados por la transición a la televisión digital (2015). En línea <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/TDT/Programa_TV_TDT.pdf>
- [5] *Manejo de residuos de TV analógicas*. (2015). Comisión para la Cooperación Ambiental. En línea: <http://www.cec.org/sites/default/files/submissions/2011_2015/15-2-rsub-version_publica_es.pdf>
- [6] INEGI (2014) Módulo de Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares 2014. En línea <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/modulos/endutih/endutih2014/default.aspx>> Recuperado el 21 de julio de 2015
- [7] Zumbuehl (2006), *Mass Flow Assessment (MFA) and Assessment of Recycling Strategies for Cathode Ray Tubes (CRTs) for the Cape Metropolitan Area (CMA)*, Sudáfrica, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, cuadro 4.
- [8] Townsend et al. (1999), *Characterization of Lead Leachability from Cathode Ray Tubes using the Toxicity Characteristic Leaching Procedure*, Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, 19 pp
- [9] Macías Raya, L. A. (2015). *Cálculo de Óxido de Plomo (pbO) en las Televisiones Analógicas de México*. Reporte, Vías Verdes A.C., Guadalajara.
- [10] OMS. (2010) Exposure to lead: A major public health concern. En línea <<http://www.who.int/ipcs/features/lead..pdf>> Recuperado el 20 de julio de 2015.
- [11] Staskal, B. A. (January 2004). Brominated Flame Retardants: Cause for Concern? *Environmental Health Perspectives*, 112 (1), 9- 17.
- [12] Bernache, G., S. Chávez, y C. Mendoza (2014) “La Campaña de Electroacopio 2014 en Jalisco”. En *Memorias del 7º Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos*. María del Consuelo Mañón Salas y María del Consuelo Hernández Berriel (compiladoras). Páginas 100-104. Instituto Tecnológico de Toluca, Toluca.
- [13] Casa Cem en línea <<https://www.youtube.com/watch?v=-GTZtWOIwz4>> Recuperado el 16 de mayo de 2016.
- [14] Casa Cem en línea <https://www.youtube.com/watch?v=eXNu_pCrouA&feature=youtu.be> Recuperado el 16 de mayo de 2016.
- [15] Casa Cem En línea <<https://www.youtube.com/watch?v=dLBIX64oySw>> Recuperado el 16 de mayo de 2016.
- [16] Casa Cem. Conoce la historia de Don Toño. (2015) En línea <https://www.youtube.com/watch?v=BI7_hhZt_x0> Recuperado el 16 de diciembre de 2015.
- [17] Casa Cem. (2015) Conoce la historia de Don Nacho (2015) En línea <<https://www.youtube.com/watch?v=4g0qp7DcbrY>> Recuperado el 16 de diciembre de 2015.
- [18] Canal 44. (2015) Ruta 44: Apagón Analógico (2015) En línea <<https://www.youtube.com/watch?v=vz-rv-n7UaU>> Recuperado el 30 de junio de 2016.
- [19] Canal 44. (2015) Señal informativa: Lo que viene después del Apagón Analógico. En línea <<https://www.youtube.com/watch?v=uuYPfBlBNSs>> Recuperado el 17 de marzo de 2015.
- [20] Canal 44. (2015) Especial Parte 1: Apagón Analógico en México. En línea <<https://www.youtube.com/watch?v=rb-QfbxKnBE>> Recuperado el 2 de marzo de 2015.
- [21] Casa Cem. (2015) Entrevista Ángulos, Apagón Analógico. En línea <<https://www.youtube.com/watch?v=tJZ4CIWZI90>> Recuperado el 25 de marzo de 2015.
- [22] La exquisita ignorancia. Diálogos- Consecuencias ecológicas del apagón analógico. (2015) En línea <http://www.ivoox.com/dialogos-consecuencias-ecologicas-del-apagon-analogico-audios-mp3_rf_9536697_1.html> Recuperado el 28 de noviembre de 2015.

- [23] Del Castillo, A. (2015) Televisores analógicos, a baldíos y calles de la ciudad. En línea <http://www.milenio.com/region/Televisores-analogicos-baldios-calles-ciudad_0_646135434.html> Recuperado el 14 de diciembre de 2015.
- [24] Alertan sobre mercado negro de aparatos electrónicos. En línea <<http://www.informador.com.mx/jalisco/2015/573180/6/alertan-sobre-mercado-negro-de-aparatos-electronicos.htm>> Recuperado el 28 de enero de 2015.
- [25] Más por más Gdl (2015) ¿Sabes a dónde van a parar tus residuos electrónicos? En línea <<http://www.maspormas.com/maspormas-gdl/sabes-donde-van-parar-tus-residuos-electronicos>> Recuperado el 7 de enero de 2015.
- [26] C7 noticias. Conversatorio Apagón analógico (2015) En línea <<http://c7jalisco.com/noticias/apagon-analogico-y-medio-ambiente>> Recuperado el 23 de julio de 2015.
- [27] Zona 3 noticias. Apagón Analógico (2015) En línea <<http://zona3.mx/noticias/zona-local/alertan-sobre-da-os-ambientales-por-televisores-en-desuso-por-apag-n-anal-gico>> Recuperado el 24 de julio de 2015.
- [28] Crónicas Sociales. Apagón analógico (2015) En línea <<http://cronicadesociales.org/2015/07/21/consecuencias-ambientales-del-apagon-analogico-3/>> Recuperado el 21 de julio de 2015.
- [29] Mural. Advierten herencia de plomo por apagón (2015) En línea <<http://www.mural.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?id=599555&urlredirect=http://www.mural.com/aplicaciones/articulo/default.aspx?id=599555>> Recuperado el 24 de julio de 2015.
- [30] Crónicas Sociales. La TV dejará un “apagón” tóxico (2015) En línea <<http://cronicadesociales.org/2015/08/03/la-tv-digital-dejara-un-apagon-toxico/>> Recuperado el 03 de agosto de 2015.
- [31] El Universal. La fallida transición hacia la televisión digital (2014) En línea <<http://www.eluniversalmas.com.mx/columnas/2014/12/110151.php>> Recuperado el 8 de diciembre de 2014.



© 2016 ISSN 2395-8170
