

GESTIÓN INTEGRAL de residuos



COMPILADORES:

Samantha E. Cruz Sotelo, Maribel Velasco Pérez, Sara Ojeda Benitez, Nancy M. Jiménez Martínez, Yolanda Ordaz Guillen, Beatriz A. Venegas Sahagún, Gerardo Bernache Pérez, Ma. del Consuelo Hernández Berriel, Gloria I. González López.

TÍTULO DE LA OBRA: Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos

SUBTÍTULO: Gestión Integral de residuos

COMPILADORES: Samantha Eugenia Cruz Sotelo, Maribel Velasco Pérez, Sara Ojeda Benítez, Nancy Merary Jiménez Martínez, Yolanda Ordaz Guillen, Beatriz Adriana Venegas Sahagún, Gerardo Bernache Pérez, María del Consuelo Hernández Berriel, Gloria Inés González 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 11, No. 1, Octubre 2019-Octubre 2020, 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, México, 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., Dra. Samantha Eugenia Cruz Sotelo, Benito Juárez y calle de la normal s/n Insurgentes Este Mexicali C.P. 21290. Fecha de última modificación, 6 de octubre de 2020.

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.

PRESENTACIÓN.

La problemática ambiental provocada por el incremento de residuos sólidos requiere ser gestionados de manera integral, para contribuir al ahorro de recursos y la disminución de los impactos ambientales, en México, aún es necesario implementar soluciones integrales en esta área, ya que sólo se han adoptado soluciones parciales que no abordan las necesidades de gestión requeridas para un manejo correcto de residuos.

En este sentido este documento incluye trabajos de diversas partes del país que abordan esta problemática, se analizan los problemas ambientales y técnicos asociados a la generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, así mismo se discuten los adelantos y evolución en la temática, además de fomentar soluciones multidisciplinarias para la gestión integral de residuos sólidos.

En este documento se integran 43 trabajos que se expondrán en el 10° ENERS, organizado en diez áreas bajo el lema Gestión integral de residuos, los autores son académicos que están trabajando la problemática y proponiendo alternativas para incidir en la solución de problemas asociados a la gestión de residuos sólidos. Se presentan resultados de experiencias y desarrollo de proyectos en alguna de las áreas que se incluyeron en la convocatoria, incluyendo la problemática del manejo de residuos ante una contingencia como lo es el COVID.

Dra. Sara Ojeda Benitez
Presidenta de SOMERS

CONTENIDO

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE FIBRAS OBTENIDAS A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE LA INDUSTRIA TEQUILERA: DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE POSIBLES USOS PARA LOGRAR SU VALORIZACIÓN.....	1
VARIACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE COLILLAS EN PLAYA ZIPOLITE EN SEMANA SANTA	10
ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE RESIDUOS MARINOS EN MÉXICO DESDE 1989	18
CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN ÁREAS DE LA CAFETERÍA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA	28
ESTUDIO DE LA GENERACIÓN DE COLILLAS DE CIGARRO EN PARQUES PÚBLICOS DE LA CIUDAD DE ORIZABA, VER.....	38
GENERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS EN LA CABECERA MUNICIPAL TEPETZINTLA VERACRUZ.	45
EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y LAS ACTIVIDADES DEL SECTOR INFORMAL QUE CONTRIBUYEN A SU RECUPERACIÓN. CASO DE ESTUDIO: SUBCUENCA RÍO TECOLUTLA.....	54
ANÁLISIS DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL PARQUE CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO DE YUCATÁN	63
IMPLEMENTACIÓN DE CARBONES ACTIVADOS DE CÁSCARA DE NARANJA Y BORRA DE CAFÉ EN ELECTRODOS DE PASTA COMO ALTERNATIVA A LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.....	71
PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN CON MUCÍLAGO DE <i>OPUNTIA FICUS-INDICA</i> PARA TRATAR LIXIVIADOS MADUROS.....	80
TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL EXTIRADERO BORDO DE XOCHIACA USANDO UN BIOFILTRO CON RESIDUOS ESTABILIZADOS EVALUANDO RECIRCULACIÓN E INÓCULO.....	91
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE CARBONES ACTIVADOS OBTENIDOS A PARTIR DE TRES RESIDUOS AGROINDUSTRIALES	103
SISTEMA DE RECICLADO COMUNITARIO DE RESIDUOS SÓLIDOS ALIMENTICIOS: CASO DE ESTUDIO COLONIA INDECO EN TEPIC, NAYARIT	112
PREPARACIÓN DE MATERIALES COMPOSITOS BIO-INSPIRADOS A PARTIR DE RESIDUOS DE CÁSCARAS DE TORONJA PARA SU USO EN LA DETECCIÓN DE TRAZAS DE PLATA PRESENTES EN EL AGUA	121
RE-FERMENTACIÓN DE SÓLIDOS GASTADOS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA LA PRODUCCIÓN ADICIONAL DE METANO	130
EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y BIODEGRADABILIDAD SOBRE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.....	139
ESTUDIO DEL EFECTO DE LAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS EN LA VERMICOMPOSTA EN SUELO DE CULTIVO DE ALBAHACA (<i>OCIMUM BASILICUM</i>)	147
EFFECTO DE LA VERMICOMPOSTA EN LAS PROPIEDADES BIOQUÍMICAS DE UN SUELO DE CULTIVO DE PAPA (<i>SOLANUM TUBEROSUM</i>).....	158

SÍNTESIS DE UN MATERIAL DE CARBÓN A PARTIR DE RESIDUOS DE MEZQUITE PARA SU USO EN LA REMOCIÓN SELECTIVA DE COLOR DEL TEQUILA AÑEJO: HACIA LA PRODUCCIÓN DE TEQUILA CRISTALINO.....	169
OBTENCIÓN DE UN COMPUESTO CON SARGAZO Y PLÁSTICO RECUPERADO, CON APLICACIÓN POTENCIAL COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	180
PROYECCIONES DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS INORGÁNICOS EN CUATRO MUNICIPIOS DEL ESTADO DE MÉXICO.....	189
ACOPIO Y RECUPERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA CABECERA MUNICIPAL DE MEXICALTZINGO, ESTADO DE MÉXICO	196
COMPARACIÓN DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN CUATRO MUNICIPALIDADES DEL ESTADO DE MÉXICO MEDIANTE INDICADORES SOCIOECONÓMICOS.....	208
EL CAMINO A LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS. LA UNIDAD MUNICIPAL DE COMPOSTEO EN ETZATLÁN, JALISCO	217
DETERMINACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES EN UN CENTRO DE ACOPIO DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ISO 14001.....	227
PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS PARA UN CLUB DEPORTIVO PRIVADO EN EL ESTADO DE MÉXICO	238
ANÁLISIS DE LA LEGISLACIÓN VIGENTE EN MATERIA DE RESIDUOS EN EL MUNICIPIO DE POZA RICA DE HIDALGO, VERACRUZ.....	249
LA INCLUSIÓN DE TRABAJADORES INFORMALES DEL SECTOR DE LOS RESIDUOS, A PARTIR DE UNA EXPERIENCIA DE GESTIÓN UNIVERSITARIA SUSTENTABLE.....	255
EFFECTO DE LA BIOAUMENTACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE METANO EN UN PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	266
RIESGO POR EL MAL MANEJO DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA.....	278
SEGURIDAD ALIMENTARIA EN MÉXICO: PLAGUICIDAS RESIDUALES EN ALIMENTOS.....	289
EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL EN LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA DE TIANGUISTENCO, ESTADO DE MÉXICO.....	300
EVALUACIÓN DE LA FITOTOXICIDAD DE BIOSÓLIDOS PROVENIENTES DE LA ESTABILIZACIÓN DE LODOS FÍSICOQUÍMICOS MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA	310
MODELO DE IMPRESIÓN 3D PARA PIEZAS DE REEMPLAZO COMO UNA MEDIDA SUSTENTABLE	320
SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA LOCALIZACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN VERACRUZ	326
DIAGNÓSTICO Y PERCEPCIÓN UNIVERSITARIA SOBRE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE JALISCO	337
EXPERIENCIAS DE EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS EN ETZATLÁN, JALISCO.	347
RELACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL Y LA PRESENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS Y MICROPLÁSTICOS EN CINCO PLAYAS MEXICANAS	358
PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN CUATRO ZONAS DE LA PLAYA COATZACOALCOS	370

PRÁCTICAS DE SEGURIDAD E HIGIENE EN LA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS EN EL CONTEXTO DEL COVID-19: UN ENSAYO DE CIENCIA CIUDADANA	378
EFFECTO DEL COVID-19 EN LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS	386
CONSUMO Y RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN TIEMPOS DE COVID-19 EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA	392
TRIPULACIÓN DE VEHÍCULOS RECOLECTORES DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO: FUENTES POTENCIALES DE CONTAGIO DEL SARS-CoV-2 ENTRE SÍ Y DE O HACIA LA POBLACIÓN.....	404
ACCIONES IMPLEMENTADAS EN MÉRIDA, YUCATÁN PARA SALVAGUARDAR LA SALUD DEL PERSONAL DEDICADO AL MANEJO DE RESIDUOS DURANTE LA CONTINGENCIA SANITARIA CAUSADA POR COVID-19	407

Caracterización fisicoquímica de fibras obtenidas a partir de residuos agroindustriales de la industria tequilera: Discusión y análisis de posibles usos para lograr su valorización

¹ Daniela Ruvalcaba-García, ¹ Carolina Espinoza-Angulo, ¹ Walter M. Warren-Vega, ² Linda V. González-Gutiérrez, ³ Jesica Castelo-Quibén, ³ Francisco Carrasco-Marín, ^{1,*} Luis A. Romero-Cano

¹ Grupo de Investigación en Materiales y Fenómenos de Superficie. Departamento de Biotecnológicas y Ambientales. Universidad Autónoma de Guadalajara. Av. Patria 1201, C.P. 45129. Zapopan, Jalisco, MÉXICO

* email: luis.cano@edu.uag.mx Tel: 33 3648 8824

² Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S. C. (CIDETEQ). Parque Tecnológico Sanfandila, C.P. 76070. Pedro Escobedo, Querétaro, MÉXICO

³ Grupo de Investigación en Materiales de Carbono. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Av. Fuente Nueva s/n. C.P. 18071. Granada, ESPAÑA

Resumen

En la presente investigación se realizó la recolección de hojas de agave, residuo agroindustrial de la industria tequilera, para mediante un proceso mecánico obtener fibras y estudiar su caracterización fisicoquímica con el objetivo de proponer alternativas de uso que logren su valorización. Las fibras obtenidas tuvieron una longitud de 10 cm y un diámetro medio de 108.00 μm . La caracterización realizada consistió en estudios de microscopia electrónica de barrido (SEM), fisisorción de nitrógeno, espectroscopia de energía dispersiva (EDX), infrarroja (FTIR), RAMAN y de fotoemisión de rayos X (XPS), adicionalmente se realizaron análisis termogravimétricos (TGA). Los resultados obtenidos mostraron que las fibras son materiales macroporosos con un área superficial (S_{BET}) de 1.0 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$. El análisis elemental mostró una composición mayoritaria de C (57.19 wt%) y O (37.49 wt%) con trazas de Ca, N, Na, K, Mg, Al y Si. Los análisis por FTIR y XPS mostraron que el material presenta grupos superficiales C-O, C=O, -OH, O-C=O y -NH₂. Finalmente, el RAMAN y el TGA evidenciaron que el material está compuesto esencialmente de celulosa (40.94%), lignina (20.15%) y hemicelulosa (3.35%). Tomando en cuenta la caracterización del material se proponen como alternativas para lograr su valorización su uso como: i) fibras textiles para fabricación de moda sustentable, ii) material para fabricación de filtros internos en mascarillas, iii) material precursor para síntesis de materiales avanzados de carbón para su aplicación en procesos de remediación ambiental y la síntesis de bio-plásticos para su implementación en la industria automotriz.

Palabras Clave: Caracterización fibras celulósicas, Hojas de Agave, Industria Tequilera, Residuos Agroindustriales

1. Introducción

En los últimos años, la industria tequilera ha tenido un incremento en la exportación y comercialización de “Tequila”, bebida regional obtenida por destilación de mostos, preparados directa y originalmente de material extraído de cabezas de agave *tequilana* Weber variedad azul cosechado en el territorio comprendido dentro de la declaración que otorga la denominación de origen [1]. Esta demanda ha aumentado la producción de la bebida generando después de su proceso de producción grandes cantidades de residuos agroindustriales tales como bagazo y hojas de agave (producto de la jima de la planta) los cuales presentan problemas para su disposición final generando grandes problemas económicos y ambientales. De acuerdo con datos de Consejo Regulador del Tequila (CRT) durante 2018 se consumieron 1,139,000 toneladas de agave [2], de las cuales aproximadamente 433,000 toneladas pertenecen a las hojas de la planta; debido a que estas no son consideradas dentro de la cadena de producción de tequila, se

desechan en el campo posterior a la jima (Figura 1a), ocasionando problemas económicos y ambientales debido al gasto que se debe invertir para su correcta disposición. Debido a los grandes volúmenes que representan, estas hojas llegan a ser un contaminante en los suelos, ya que el proceso de biodegradación por microorganismos y enzimas es complejo debido al elevado contenido de lignina [3]. En este sentido, se han comenzado a estudiar diferentes usos del residuo para lograr su valorización. Han sido probados procesos de fermentación para obtener biopolímeros por medio de procesos microbiológicos, sin embargo, los procesos de cultivo del microorganismo, el pretratamiento que hay que realizar a las hojas para convertirlas en un sustrato afín y el proceso de remoción de productos secundarios, hacen que esta estrategia de valorización sea demasiado compleja e impráctica económicamente, además de que seguirán prevaleciendo residuos del fermento [4]. Otra estrategia de reúso recientemente publicada propone el empleo de las hojas para la producción de biocombustibles [3] sin embargo, los diferentes tratamientos fisicoquímicos que deben ser aplicados para la deslignificación e hidrólisis de azúcares, encarece el proceso convirtiéndolo en una alternativa costosa. Debido a lo anterior, en la actualidad aún se encuentra en estudio estrategias que permitan aprovechar este residuo otorgándole un valor agregado que permita a la industria tequilera contar con una economía circular, procesos de producción sustentables y amigables con el medio ambiente. En el presente trabajo de investigación se explora la obtención de fibras a partir de hojas de agave. El método de obtención es muy sencillo ya que consiste en un tratamiento mecánico que no implica el uso de maquinaria especializada. Una vez obtenida la fibra se realizó una caracterización exhaustiva de la misma a través de diferentes técnicas fisicoquímicas, con la finalidad de contar con la mayor información posible que permita vislumbrar las aplicaciones potenciales que permitan su valorización.

2. Metodología

2.1 Recolección y tratamiento de la muestra

Se recolectaron hojas de agave *tequilana* Weber variedad azul, obtenidas posterior al proceso de jimado de la planta. Este procedimiento se realizó en el mes de Octubre del 2019 en un predio ubicado en la población de Teuchitlán en Amatitán, Jalisco, México. La extracción de la fibra se realizó empleando la metodología propuesta en [5], la cual consistió en un tratamiento mecánico para eliminar toda la pulpa de la hoja, posteriormente se empleó un cepillo de fibras de aluminio No. 64 para retirar la cobertura de la hoja para así poder empezar a desfibrarla. Las fibras se fueron limpiando de forma manual hasta retirar completamente la pulpa, posteriormente se realizó una segunda limpieza pasándolas por agua caliente y retirando cualquier otro residuo que pudiese haber quedado. Finalmente, las fibras obtenidas se secaron y se prepararon para su caracterización (Figura 1b).

2.2 Caracterización fisicoquímica

Con la finalidad de conocer las propiedades del material y proyectar su uso para aplicaciones que logren su valorización, se realizó su caracterización empleando microscopía electrónica de barrido (SEM), fisisorción de nitrógeno, espectroscopia EDX, FTIR, RAMAN, XPS y un análisis termogravimétrico (TGA).

Microscopia electrónica de Barrido (SEM) y Espectroscopia de energía dispersiva (EDX). La morfología de las fibras obtenidas se estudió mediante la toma de microfotografías de la superficie del material empleando un microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM) FEI, modelo Quanta 400. Mientras que para el estudio de la composición elemental del material se empleó un microscopio JSM-6510LV EDS.

Adsorción física de nitrógeno. Las isothermas de adsorción de nitrógeno (99.999 %) se obtuvieron en un equipo QUADRASORB-SI de la casa comercial Quantachrome Ins. a -196 °C para obtener el área

superficial específica (S_{BET}) y el volumen total de poros. Para ello se utilizó aproximadamente 0.1 g de muestra la cual se introdujo en un bulbo de 9 mm y se desgasificó a alto vacío (10^{-6} bar) a una temperatura de 110 °C durante 12 h.

Espectroscopia infrarroja (FTIR). Los estudios se realizaron en la región de 400 a 4000 cm^{-1} empleando un espectrofotómetro marca Bruker Tensor 27 equipado con módulo de ATR.

Espectroscopia RAMAN. La caracterización se realizó empleando un micro espectrofotómetro micro-Raman Dispersivo JASCO NRS-5100, a una longitud de onda del láser rojo de 780 nm, y una potencia de 4 mW en un intervalo de 200 a 2400 cm^{-1} .

Espectroscopia de Fotoemisión de rayos X (XPS). El análisis se realizó empleando un equipo ESCA 5701 de Physical Electronics. Los espectros XP se obtuvieron con una fuente monocrónica de rayos X Al $K\alpha$ (1486.71 eV) trabajando a 150 W, 15 kV y 10 mA a una presión base de 3×10^{-8} Torr en la cámara analítica. Para los espectros de barrido amplio, se utilizó un intervalo de energía de 0 – 1100 eV con una energía de paso de 80 eV y un tamaño de paso de 1 eV. Una vez que se examinaron los picos, se realizaron exploraciones de alta resolución con una energía de paso de 40 eV y un tamaño de paso de 0.05 eV. Cada región espectral de interés se escaneó varias veces con el objetivo de obtener buenas relaciones señal/ruido. Con el fin de obtener el número de componentes, la posición de cada pico y las áreas de los picos, los espectros resultantes después de la corrección de la señal de fondo se ajustaron a las curvas de Lorentz y Gauss (perfil de Voigt). Las asignaciones de picos se realizaron según la literatura.

Análisis termogravimétrico (TGA). Estos estudios se realizaron en un analizador termogravimétrico marca METTLER-TOLEDO modelo TGA/DSC1. Los experimentos se realizaron en una atmósfera de aire con un flujo de 100 mL min^{-1} . La masa inicial del material fue de aproximadamente 40 mg para todos los experimentos. El rango de temperatura fue de 28 a 900 °C y la velocidad de calentamiento fue de 0.2 °C min^{-1} . A partir de estas condiciones se registró la pérdida de peso del material en función de la temperatura.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización fisicoquímica de fibra de agave

Microscopia Electrónica de Barrido (SEM-EDX)

La microestructura de la fibra de agave se estudió mediante Microscopia Electrónica de Barrido (SEM). Las microfotografías más representativas de la fibra se muestran en la Figura 1c a 1e. Las imágenes muestran una estructura ensamblada en varias capas, similar a lo previamente reportado por otros autores [6] – [8]. Así también se observan canales bien definidos interconectados a lo largo de la fibra. El largo de las fibras fue de 10 cm en promedio, mientras que el diámetro fue de $108.00 \pm 6.55 \mu\text{m}$.

Mediante el análisis por espectroscopia EDX fue posible obtener la composición elemental del material, la cual mostró un contenido mayoritariamente de carbono (57.19 wt.%) y oxígeno (37.49 wt.%) asociado a la elevada cantidad de celulosa en el material. El resto de la composición fueron trazas de Calcio (2.03 wt.%), Nitrógeno (2.09 wt.%), Sodio (0.53 wt.%), Potasio (0.14 wt.%), Magnesio (0.22 wt.%), Aluminio (0.17 wt.%) y Silicio (0.14 wt.%) atribuibles a los minerales presentes en el suelo donde fue cultivado el agave.

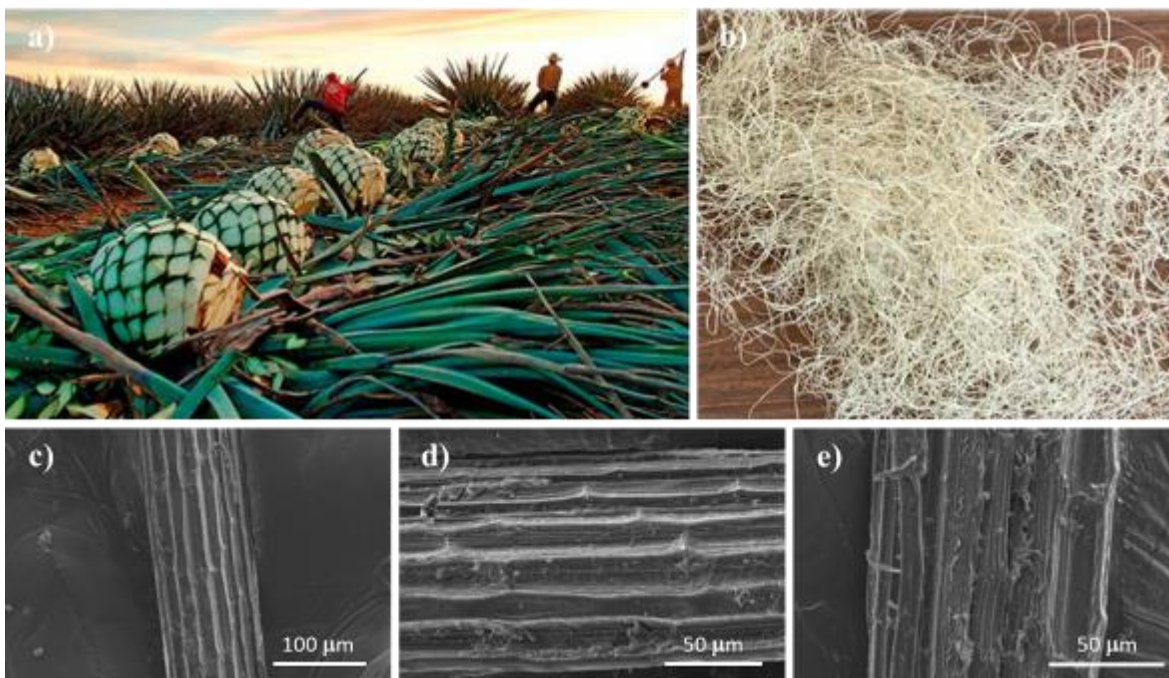


Figura 1. a) Fotografía de hojas y piñas de agave tequilana Weber variedad azul posterior a la jima, b) Fibra obtenida a partir de hojas de agave, c-e) microfotografías de las fibras a diferentes magnificaciones

Fisiorción de nitrógeno

Con el objetivo de determinar las propiedades texturales de la fibra de agave, se obtuvo la isoterma de adsorción de nitrógeno a -196°C . Se concluye que el material es esencialmente meso y macroporoso ya que el área superficial (S_{BET}) es de $1.00\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$, este valor se encuentra dentro del rango reportado previamente para materiales similares del mismo origen [9], se puede concluir que un valor tan bajo de área superficial es debido a la nula existencia de microporosidad en el material, de tal forma que el volumen total de poros ($V_{0.95} = 0.002\text{ cm}^3\text{ g}^{-1}$) puede expresarse como el volumen debido a la presencia de meso ($V_{\text{meso}} = 0.001\text{ cm}^3\text{ g}^{-1}$) y macroporosidad ($V_{\text{macro}} = 0.001\text{ cm}^3\text{ g}^{-1}$).

Espectroscopia infrarroja FTIR

El espectro FTIR de las fibras se presenta en la Figura 2a en el se aprecia una banda de absorción en la región de los 3342 cm^{-1} la cual indica la presencia de enlaces $-\text{OH}$, la banda centrada a 2916 cm^{-1} puede atribuirse a la presencia de enlaces $-\text{CH}$ y $-\text{CH}_2$, mientras que la banda a 1600 cm^{-1} pertenece a enlaces COOH ; finalmente las bandas a 1238 cm^{-1} y 1012 cm^{-1} pueden asociarse a enlaces tipo C-O-C y C-O respectivamente. Todos los enlaces anteriormente descritos pueden relacionarse a la estructura de la celulosa, pectina y lignina [10].

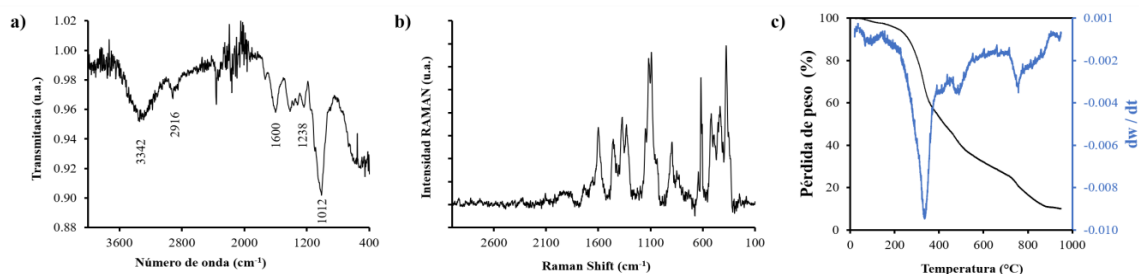


Figura 2. a) Espectro FTIR, b) Espectro RAMAN, y c) Análisis termogravimétrico de fibras de agave

Espectroscopia RAMAN

La Figura 2b muestra el espectro RAMAN de la de fibra de agave después de la corrección de línea base y la normalización del área. Cada una de las bandas se estudió a detalle y se comparó contra información previamente reportada en la literatura. Las bandas a 2945, 1658, 1620, 1601, 1423, 1330, 1270, 1130, 786, 730, 634, 595, 560 cm^{-1} pueden atribuirse a las diferentes vibraciones de estiramiento, flexión, deformación y torsión de los enlaces relacionados con lignina. Mientras que las bandas centradas a 2897, 1480, 1465, 1378, 1121, 1098, 1037, 896, 520, 458, 435, 378 cm^{-1} , se atribuyen a las distintas vibraciones de la estructura de la celulosa y hemicelulosa [11].

Espectroscopia XPS

La espectroscopia de fotoemisión de Rayos X (XPS) se utiliza para caracterizar la química superficial de la muestra en su superficie más externa. La conjunción con las técnicas de FTIR, EDX y RAMAN permite tener un panorama bastante completo de la química superficial y de la composición química del material, así como de la distribución de los distintos grupos superficiales. El espectro de barrido amplio (0 – 1100 eV) mostró que las señales asociadas a las regiones C_{1s} , O_{1s} y N_{1s} son predominantes, con pequeñas trazas de los elementos descritos en las secciones anteriores. Debido a esto, se procedió a analizar estas regiones en alta resolución. Para el análisis cuantitativo (Tabla 1) se utilizaron los factores de sensibilidad recomendados por el fabricante: 0.205 para C_{1s} , 0.66 para O_{1s} , y 0.42 para N_{1s} .

El espectro en alta resolución de la región C_{1s} (Figura 3a), fue descompuesto en cuatro diferentes especies, de forma similar a lo previamente reportado para materiales del mismo origen [12] – [14]. El primer pico centrado a 284.79 eV está asociado con enlaces C-C. El segundo pico (286.40 eV) corresponde a enlaces C-O y/o C-O-C. El tercer pico (287.90 eV) puede ser atribuido a la presencia de enlaces C=O. Finalmente, el cuarto pico (289.00 eV), puede relacionarse a estructuras O-C=O. Los grupos oxigenados descritos anteriormente se corroboran al realizar la descomposición de los espectros en alta resolución de la región O_{1s} , (Figura 3b) ya que se observan tres picos centrados a 531.80, 533.0 y 534.20 eV, correspondientes a los enlaces de los grupos C=O, C-O y -OH, respectivamente. Finalmente, el espectro en alta resolución de la región N_{1s} se muestran en la Figura 3c, este fue descompuesto en tres picos centrados a 398.10, 400.10 y 402.10 eV, atribuibles a grupos amida y NH^{3+} .

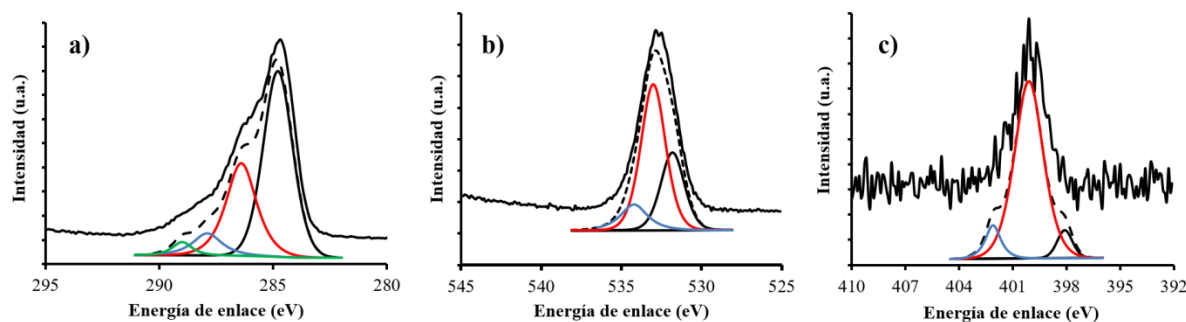


Figura 3. Descomposición de los espectros XP de la fibra de agave para las regiones: a) C_{1s} , b) O_{1s} y c) N_{1s} .

Tabla 1. Energías de enlace (eV) de las regiones C_{1s} , O_{1s} y N_{1s} obtenidos a partir de los análisis matemáticos de los espectros XP.

Muestra	C_{1s}	FWHM (eV)	% pico	O_{1s}	% pico	%O	N_{1s}	% pico	% N
	284.79	1.52	58.07	531.80	29.26	18.28	398.10	6.84	0.54
Fibra de	286.40		31.59	533.00	58.27		400.10	83.98	
agave	287.90		7.39	542.20	12.46		402.10	9.17	
	289.00		2.93						

Análisis termogravimétrico (TGA)

La Figura 2c muestra el análisis termogravimétrico, en color negro se muestra el termograma para la fibra obtenida, para poder visualizar las etapas de degradación térmica con mejor claridad, se procedió a obtener la derivada de la función con respecto a la temperatura (dw/dt). Mediante este análisis matemático es posible apreciar cinco etapas (picos) durante la combustión del material de manera similar a otros subproductos agroindustriales [15]. La primera etapa se produce entre 20 y 140 °C, y representa la pérdida de agua y humedad presentes en el material. La segunda etapa se encuentra comprendida entre 140 y 227 °C, y puede atribuirse a la degradación de la hemicelulosa. En esta etapa, la fibra pierde aproximadamente el 5.70% de su peso inicial. La tercera etapa de la descomposición térmica ocurre entre los 227 a 400 °C, en esta etapa es donde ocurre la mayor pérdida de peso (aproximadamente 46.64%), debido a la oxidación de celulosa presente. Una cuarta etapa ocurre por entre los 400 a 580 °C donde ocurre la degradación de la lignina (66.79%). En la quinta etapa comprendida entre los 580 y 790 °C ocurre la degradación del resto de las especies de celulosa, los cuales se degradan a una velocidad relativamente lenta. Finalmente, posterior a esta temperatura se observa que el peso empieza a ser constante y adquiere un valor aproximadamente de 1.192 g. La muestra obtenida a esta temperatura es de color blanco, indicando la presencia de sílice y trazas de más elementos inorgánicos. A partir de los datos anteriores se construyó la Tabla 2 donde se resume la composición de la muestra.

Tabla 2. Composición de la fibra de agave obtenida a partir del análisis termogravimétrico.

Rango de Temperatura (°C)	Composición	(%)
20 – 140	Humedad y agua	2.35
140 – 227	Hemicelulosa	3.35
227 – 400	Celulosa	40.94
400 – 580	Lignina	20.15
580 – 790	Moléculas orgánicas pequeñas	15.73
790 – 950	Compuestos inorgánicos	17.47

3.2 Discusión de posibles aplicaciones para lograr la valorización del residuo

A partir de toda la información recabada en la sección anterior es posible proponer alternativas para la valorización de fibras obtenidas a partir de residuos agroindustriales de la industria tequilera.

Resumiendo la información anterior, estas fibras están compuestas principalmente de celulosa y presentan nula porosidad por lo que se puede intuir que presentarán una gran resistencia mecánica (estudios actualmente en curso en nuestro grupo de investigación), estas condiciones lo hacen un material prometedor para ser utilizado como fibras textiles, las cuales puedan ser utilizadas para la fabricación de moda sustentable, los grupos superficiales detectados por espectroscopia XP nos dan desde ahora un indicativo de que colorantes se podrían utilizar para teñir estas ropas, con el fin de elegir aquellos que no representen un impacto negativo al medio ambiente. Inclusive, materiales de origen celulósico, como el algodón, han sido propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para ser utilizados como filtros internos en mascarillas para minimizar los contagios debidos por la pandemia de COVID-19 que actualmente afecta al mundo. En este sentido, las fibras celulósicas presentadas en este estudio podrían considerarse como un material precursor para la fabricación de estos filtros.

Otra aplicación prometedora para valorizar estos residuos es la generación de materiales avanzados que puedan ser utilizados en la remediación de cuerpos de agua y aire contaminados. El elevado contenido de carbono, cerca del 60% wt. del material, lo hacen ser un material precursor ideal para la síntesis de adsorbentes, catalizadores, carbones activados, *hard-carbons* o *biochars* los cuales utilizan los grupos superficiales (oxigenados y nitrogenados) como sitios de anclaje para agregar funcionalidades que permitan hacer selectivo al material para un contaminante de interés. Estudios recientes han demostrado que materiales de carbono preparados a partir de residuos celulósicos empleando bajas temperaturas han conseguido eficiencias iguales, o en algunos casos superiores, a las obtenidas por carbones activados actualmente comercializados [16], [17].

Finalmente, una aplicación que ha ganado gran aceptación en los últimos años es utilizar materiales con estas características para la fabricación de bio-plásticos, los cuales pueden ser utilizados dentro de la industria automotriz para sintetizar espumas de poliuretano que puedan servir para la fabricación de cojines y reposacabezas [18].

4. Conclusiones

Es posible obtener fibras a partir de residuos agroindustriales de la industria tequilera (hojas de agave), las cuales actualmente no tienen ningún valor en el mercado. A través de estudios fisicoquímicos ha sido posible obtener la caracterización del material. Las fibras obtenidas son macroporosas con una baja área superficial ($1.0 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), están esencialmente compuestas de celulosa, hemicelulosa y lignina, con pequeñas trazas de compuestos inorgánicos. Los grupos funcionales superficiales presentes en el material son C-O, C=O, -OH, O-C=O y -NH₂. Para lograr la valorización del residuo se proponen algunas alternativas entre las cuales destacan la obtención de fibras textiles para su uso en moda sustentable, fabricación de filtros internos para mascarillas, síntesis de materiales avanzados de carbón para su aplicación en procesos de remediación ambiental y la síntesis de bio-plásticos para su implementación en la industria automotriz.

Agradecimientos

DRG y CEA agradecen: i) Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo otorgado para la realización de estudios de posgrado, ii) A la Dirección de Ciencia de la Universidad Autónoma de Guadalajara por el apoyo recibido para la realización de estancias de investigación en la Universidad de Granada (España). Todos los autores agradecen al Consejo Regulador del Tequila (CRT) por el apoyo brindado para la realización de este trabajo de investigación.

Referencias

- [1] NOM-006-SCFI-2012 (2012). Bebidas alcohólicas-Tequila Especificaciones. México: Diario Oficial de la Federación.
- [2] Consejo Regulador del Tequila, CRT. (2018). Estadísticas del Consejo Regulador del Tequila. En línea: <https://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/> Recuperado el 10 de Junio de 2020.
- [3] Avila-Gaxiola, E., Avila-Gaxiola, J., Velarde-Escobar, O., Ramos-Brito, F., Atondo-Rubio, G., & Yee-Rendon, C. (2017). "Effect of Drying Temperature on Agave tequilana Leaves: A Pretreatment for Releasing Reducing Sugars for Biofuel Production". *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), 1–8.
- [4] González-García, Y., Grieve, J., Meza-Contreras, J. C., Clifton-García, B., & Silva-Guzman, J. A. (2019). "Tequila Agave Bagasse Hydrolysate for the Production of Polyhydroxybutyrate by *Burkholderia sacchari*". *Bioengineering*, 6(4), 115.
- [5] Ticktin, T. (2002). "The history of Ixtle in Mexico". *Economic Botany*, 56(1), 92-94.
- [6] Bessadok, A., Langevin, D., Gouanvé, F., Chappey, C., Roudesli, S., & Marais, S. (2009). "Study of water sorption on modified Agave fibres". *Carbohydrate Polymers*, 76(1), 74-85.
- [7] Satyanarayana-Kestur, G., Flores-Sahagun, T. H., Dos Santos, L. P., Dos Santos, J., Mazzaro, I., & Mikowski, A. (2013). "Characterization of blue agave bagasse fibers of Mexico". *Composites: Part A*, 45, 153-161.
- [8] Singha, A. S., & Rana, R. K. (2012). "Functionalization of cellulosic fibers by graft copolymerization of acrylonitrile and ethyl acrylate from their binary mixtures". *Carbohydrate polymers*, 87(1), 500-511.
- [9] Dos Santos, W. N., Cavalcante, D. D., da Silva, E. G. P., das Virgens, C. F., & de Souza Dias, F. (2011). "Biosorption of Pb (II) and Cd (II) ions by Agave sisalana (sisal fiber)". *Microchemical Journal*, 97(2), 269-273.
- [10] El Oudiani, A., Msahli, S., & Sakli, F. (2017). "In-depth study of agave fiber structure using Fourier transform infrared spectroscopy". *Carbohydrate polymers*, 164, 242-248.
- [11] Hernández-Hernández, H. M., Chanona-Pérez, J. J., Vega, A., Ligero, P., Mendoza-Pérez, J. A., Calderón-Domínguez, G., ... & Farrera-Rebollo, R. R. (2016). "Acetosolv treatment of fibers from waste agave leaves: Influence of process variables and microstructural study". *Industrial Crops and Products*, 86, 163-172.
- [12] Das, D., Mukherjee, M., Pal, A. K., & Ghosh, A. K. (2017). "Extraction of xylem fibers from *Musa sapientum* and characterization". *Fibers and Polymers*, 18(11), 2225-2234.
- [13] Truss, R. W., Wood, B., & Rasch, R. (2016). "Quantitative surface analysis of hemp fibers using XPS, conventional and low voltage in-lens SEM". *Journal of Applied Polymer Science*, 133(8).
- [14] Zafeiropoulos, N. E., Vickers, P. E., Baillie, C. A., & Watts, J. F. (2003). "An experimental investigation of modified and unmodified flax fibres with XPS, ToF-SIMS and ATR-FTIR". *Journal of Materials Science*, 38(19), 3903-3914.
- [15] Ronda, A., Della Zassa, M., Martin-Lara, M. A., Calero, M., & Canu, P. (2016). "Combustion of a Pb (II)-loaded olive tree pruning used as biosorbent". *Journal of hazardous materials*, 308, 285-293.
- [16] Romero-Cano, L. A., García-Rosero, H., Gonzalez-Gutierrez, L. V., Baldenegro-Pérez, L. A., & Carrasco-Marín, F. (2017). "Functionalized adsorbents prepared from fruit peels: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies for copper adsorption in aqueous solution". *Journal of Cleaner Production*, 162, 195-204.

- [17] Zárate-Guzmán, A. I., González-Gutiérrez, L. V., Godínez, L. A., Medel-Reyes, A., Carrasco-Marín, F., & Romero-Cano, L. A. (2019). "Towards understanding of heterogeneous Fenton reaction using carbon-Fe catalysts coupled to in-situ H_2O_2 electro-generation as clean technology for wastewater treatment". *Chemosphere*, 224, 698-706.
- [18] Lomelí-Ramírez, M. G., Valdez-Fausto, E. M., Rentería-Urquiza, M., Jiménez-Amezcu, R. M., Hernández, J. A., Torres-Rendon, J. G., & Enriquez, S. G. (2018). Study of green nanocomposites based on corn starch and cellulose nanofibrils from Agave tequilana Weber. *Carbohydrate polymers*, 201, 9-19.

Variación en la concentración de colillas en playa Zipolite en semana santa

¹Arely Areanely Cruz Salas, ¹David Morales Arroyo, ²Juan Carlos Alvarez Zeferino, ¹Alethia Vázquez Morillas, ²Sara Ojeda Benitez, ²Samantha Eugenia Cruz Sotelo

¹ Universidad Autónoma Metropolitana, Av. San Pablo No. 180 Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200 Alcaldía Azcapotzalco Ciudad de México, México. al2173803384@azc.uam.mx. Teléfono: 5553189000 Ext. 2196 o 2273

² Universidad Autónoma de Baja California

Resumen

La presencia de colillas de cigarro en diferentes entornos naturales es una problemática a nivel mundial. Actualmente, son el tipo de residuo más común en las playas mexicanas y representan un riesgo al ambiente, ya que al estar en contacto con el agua lixivian los compuestos presentes en su matriz, que pueden llegar ser tóxicos para la biota marina. En este estudio se evaluó la concentración de colillas en playa Zipolite durante cuatro días consecutivos de semana santa y posteriormente se clasificaron por marca. Los muestreos se realizaron en cinco secciones, desde la línea de agua hasta las dunas, vegetación o infraestructura. Las colillas estuvieron presentes en todas las secciones, en todos los días muestreados; en promedio se recolectaron 76 colillas. La concentración más alta fue de 0.014 piezas/m² (domingo) y la más baja de 0.007 piezas/m² (jueves). En cuanto a las marcas, las dos más comunes fueron Marlboro (58%) y Pall Mall (28%). La concentración promedio de colillas de sábado y domingo en este estudio es menor a lo encontrado en otro estudio, realizado en Zipolite durante ambos días en abril de 2019, pero antes de semana santa. Se recomienda realizar más estudios sobre la presencia de colillas en playas en distintas temporadas, con el objetivo de conocer cómo varían y los factores que inciden en su presencia, para así proponer un manejo adecuado y reducir el riesgo que podrían causar al ambiente y a los organismos.

10

Palabras Clave: residuo, cigarros, toxicidad, lixiviación

1. Introducción

El cigarro es un pequeño rollo de papel que contiene una barra de hoja de tabaco picada. En el extremo de la boca del cigarro hay una segunda capa de papel y un filtro al cuál se le conoce como colilla [1], [2]. En los cigarros hay más de 5,000 compuestos presentes, de éstos al menos 150 son dañinos para la salud, debido principalmente a su potencial carcinogénico y mutagénico [3]. Algunas estimaciones indican que a nivel mundial se venden más de 5.4 trillones de cigarros cada año [4]. Por otro lado, México ha sido reconocido por la Organización Mundial de la Salud como un país con alto consumo de tabaco [5], pues tan sólo en 2015 se consumieron más de 35 mil millones de cigarros [6].

Uno de los residuos generados después que los cigarros son consumidos son las colillas fabricadas de acetato de celulosa, un material que no se degrada fácilmente [7]. Las colillas han sido diseñadas para absorber los diferentes compuestos nocivos que se producen durante el proceso de fumar [4]. Algunos de los compuestos tóxicos que contienen las colillas después del proceso de combustión son la nicotina, nitrosaminas cancerígenas, acetaldehído, fenol, formaldehído, amoníaco, piridinas, acetona, metales pesados e hidrocarburos aromáticos policíclicos [8], [9]. Cuando las colillas se disponen de una manera inadecuada terminan en diferentes entornos, tales como calles, playas y bosques [10], y si llegan a estar en contacto con el agua pueden lixiviar las sustancias nocivas presentes en ellas y ocasionar un impacto ambiental en los ecosistemas [11]. Se ha estimado que una colilla contamina alrededor de 50 litros de agua potable [12].

En cuanto a las playas, las colillas han sido uno de los residuos más comunes que se han encontrado en México en la última década en la Limpieza Costera Internacional (LCI), la cual es coordinada por Ocean Conservancy. En 2017 y 2018 se recolectaron 55,942 y 87,494 colillas, respectivamente; en ambos años éstas se ubicaron en la posición número uno de los 10 tipos de residuos comúnmente recolectados [13], [14]. Se tiene la hipótesis de que la presencia de las colillas en playas mexicanas se debe principalmente al consumo de tabaco por parte de los turistas que visitan estos destinos quienes, muy probablemente, después de fumar no depositan las colillas adecuadamente, sólo las arrojan al suelo trayendo consigo su acumulación.

El turismo en playas mexicanas generalmente aumenta cuando es temporada vacacional, asociada al calendario escolar, incluye vacaciones de semana santa (marzo o abril), verano (julio - agosto) e invierno (diciembre - enero). Con base en lo anterior, se realizó esta investigación cuyo objetivo fue evaluar las concentraciones de colillas presentes en playa Zipolite, ubicada en el Estado de Oaxaca, durante cuatro días consecutivos de semana santa.

2. Metodología

En este apartado se describen tanto las características de la zona de estudio, como la metodología empleada para los muestreos de colillas en playa Zipolite.

2.1 Descripción de la zona de estudio

Esta investigación se realizó durante cuatro días de la semana (jueves a domingo), en abril de 2019 en playa Zipolite, la cual se ubica en una localidad del mismo nombre que pertenece al municipio de San Pedro Pochutla en el estado de Oaxaca. Playa Zipolite se localiza en las coordenadas 15°39'46.92" N y 96°31'3.78" O, tiene una longitud total de 1.75 km, arena de color café con granulometría media, pendientes suaves y oleaje fuerte. En la Figura 1 se muestra el mapa con la ubicación geográfica de la playa y la zona en dónde se llevó a cabo el estudio, que es comúnmente transitada por los visitantes y presenta una línea pleamar bien definida.

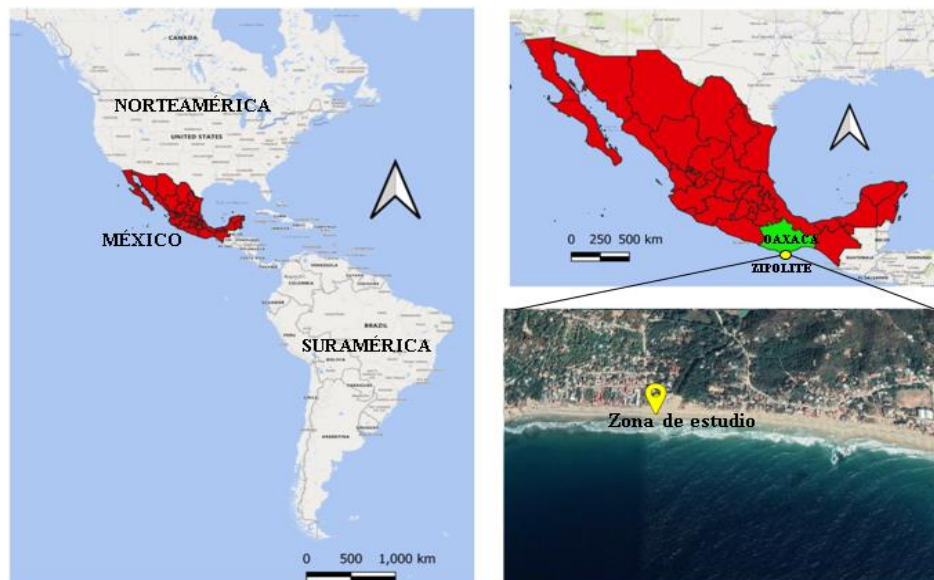


Figura. 1. Ubicación geográfica de la playa y la zona de estudio

2.2 Muestreo de colillas

Para realizar la investigación y cuantificar la concentración de colillas se delimitó un transecto de 100 m paralelo a la pleamar, usando una cuerda de media pulgada, posteriormente el transecto se dividió en 20 secciones (de 5 m cada una), las cuales se numeraron de izquierda a derecha del 1 al 20 [15]. El ancho de playa se consideró desde la línea de agua hasta la zona con vegetación, dunas o infraestructura fija (Figura 2).

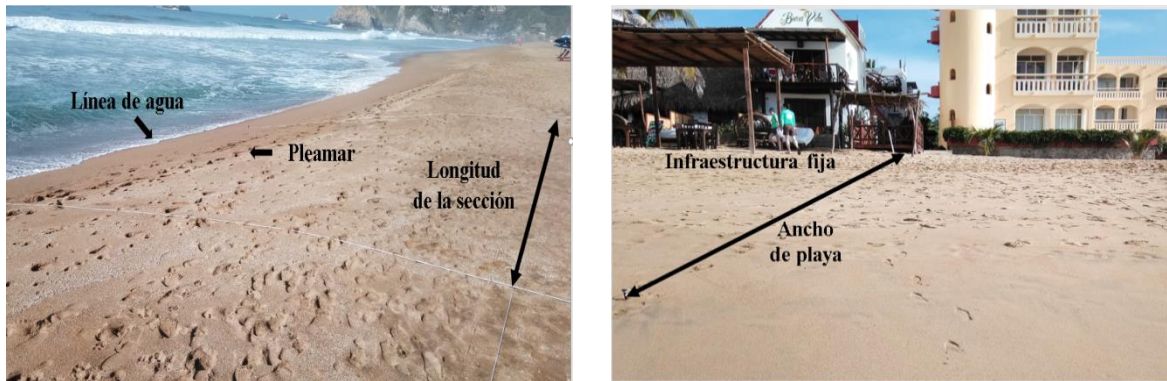


Figura. 2. Delimitación de las secciones elegidas en la zona de estudio

De las 20 secciones se eligieron cinco de manera aleatoria con ayuda de la aplicación “Número aleatorio”. La zona de estudio, al igual que las cinco secciones fueron las mismas para cada día de muestreo. En las cinco secciones se recolectaron todas las colillas encontradas dentro de sus límites o que fueran tocadas por la cuerda, se guardaron en bolsas de cierre hermético y se trasladaron al laboratorio, en donde se contó el número de colillas recolectadas por día, se obtuvieron las concentraciones y posteriormente se clasificaron por marca. El área de cada sección se obtuvo multiplicando el ancho de playa (Figura 2) por la longitud de la sección (5 m).

3. Resultados

Las colillas estuvieron presentes en todas las secciones muestreadas durante los cuatro días (jueves-domingo) en los que se realizó el estudio, en total se recolectaron 47, 71, 90 y 95 colillas. En la Tabla 1 se presentan los resultados expresados en términos de piezas/m². Las concentraciones medias se encontraron en un intervalo de 0.004 – 0.017 piezas/m², con coeficientes de variación que van desde 19.6% hasta 42.9%. Asimismo, se observa que las concentraciones más altas se encontraron el domingo con 0.014 piezas/m², mientras que las más bajas correspondieron al jueves con 0.007 piezas/m².

Tabla 1. Medidas de tendencia central y dispersión de las colillas (piezas/m²)

Día	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	% Varianza
Jueves	0.004	0.011	0.007	0.006	0.003	42.95
Viernes	0.006	0.015	0.01	0.011	0.004	39.65
Sábado	0.009	0.017	0.013	0.013	0.003	22.91
Domingo	0.011	0.017	0.014	0.015	0.003	19.69

La concentración promedio de colillas encontrada en sábado y domingo de este estudio (0.0135 piezas/m²) es menor a lo encontrado por Cruz-Salas *et al.* (2020), en un estudio de microplásticos y residuos sólidos, en playa Zipolite ambos días en abril de 2019, en dónde las concentraciones de colillas en promedio fueron de 0.044 piezas/m². Sin embargo, tal estudio sólo llevó a cabo en sábado y domingo y contempló tres temporadas distintas (mayo 2018, octubre 2018 y abril 2019) dentro de las cuales se encuentra abril de 2019, pero antes de semana santa. Lo anterior hace que los resultados no sean del todo comparables.

Por otro lado, el análisis estadístico de la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis arrojó un valor P igual a 0.034, el cual es menor que 0.05 y por lo tanto indica que hay diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las concentraciones de colillas encontradas en cada día de muestreo. Lo anterior se puede verificar en el gráfico de cajas y bigotes (Figura 3), en el cual se aprecia que las medianas (línea vertical en medio de la caja) de las concentraciones de colillas para cada día son distintas y se encuentran alejadas entre sí.

Las diferencias en las concentraciones de colillas por día muy probablemente se deban a que la temporada de muestreo fue en semana santa, en la cual no sólo arriban turistas nacionales sino también internacionales, quienes tal vez visiten la playa con mayor frecuencia durante los fines de semana. Además, Zipolite es una de las playas en dónde, los fines de semana, la vida nocturna es común y por lo tanto el consumo de alcohol y tabaco es más alto.

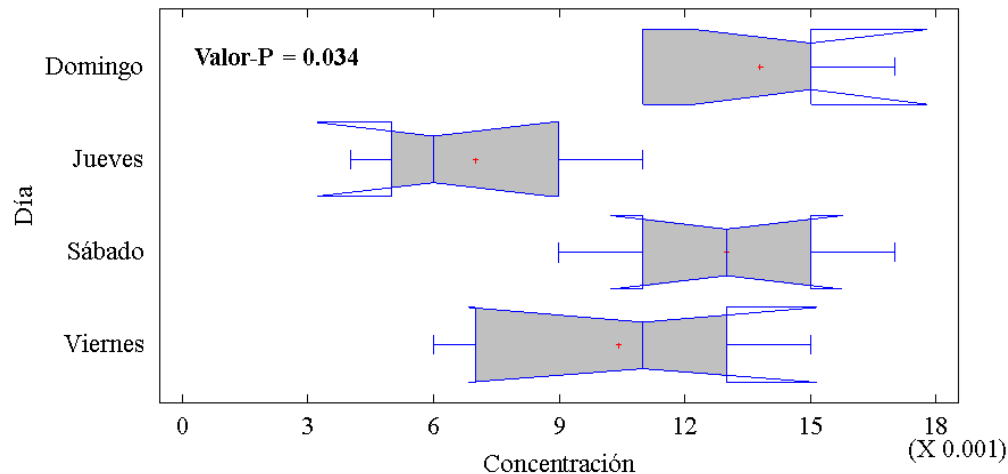


Figura. 3. Gráfico de cajas y bigotes por día de muestreo

En la Figura 4 se presentan las concentraciones de colillas por marca, las dos más comunes en todos los días de muestreo fueron Marlboro (con porcentajes que van desde 42% en domingo hasta 70% en viernes) y Pall Mall (con proporciones desde 21% en viernes hasta 37% en domingo). En promedio estas dos marcas representan el 58% y el 28%, respectivamente, seguido de Montana con una proporción de 7%.

Los resultados obtenidos en esta investigación se compararon con otros estudios (Tabla 2). A partir de estos se puede observar que el transecto muestreado varía de 25 m (cómo en esta investigación), hasta 1,000 m, la selección de este aspecto quizás tenga que ver con la longitud de playa, la logística o el objetivo del estudio. En cuanto a la temporada de estudio, es variable y también depende del objetivo del estudio; por ejemplo, si se desean conocer las concentraciones de colillas en una temporada específica o en varias temporadas, para ver como varían con base en las estaciones específicas o la afluencia turística.

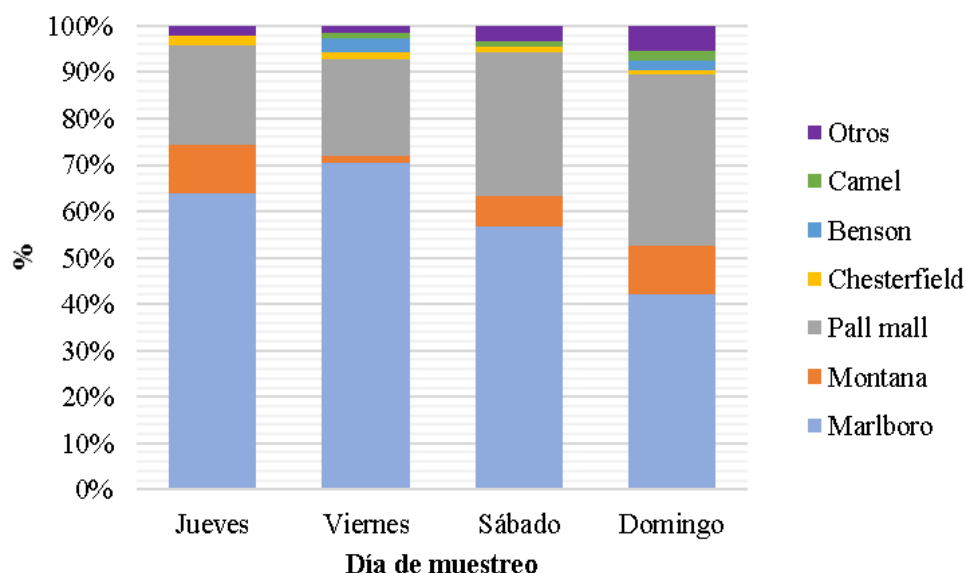


Figura. 4. Clasificación de las colillas por marca con base en piezas/m²

Por otra parte, también se aprecia que sólo el estudio llevado a cabo en Tailandia [16], se enfocó a colillas, como es el caso de la presente investigación, mientras que en el resto de los estudios se realizaron muestreos de residuos en general y a partir de éstos se obtuvieron las proporciones de colillas, las cuales van desde 15% hasta 59% (Tabla 2).

En cuanto a las concentraciones de colillas, estas van desde 0.01 piezas/m² en Bulgaria [17] hasta 0.21 piezas/m² en Chipre [18], comparando éstas con la concentración promedio encontrada en este estudio (0.011 piezas/m²), se aprecia que de manera general se encuentran en el mismo orden de magnitud de que las de Bulgaria, cuyo estudio se realizó durante todo el año. Finalmente, en la clasificación de colillas por marca, ninguno de los estudios analizados la presenta.

Tabla 2. Comparación de resultados con otras investigaciones

Lugar	Transecto (m)	Temporada	Proporción de colillas (%)	Concentración de colillas (pzas/m ²)	Marcas comunes	Referencia
Alicante, España	100	Marzo 2018 – abril 2018	46.5	0.023	N.E.	[19]
Tailandia	1,000	Julio 2017	N/A	0.13	N.E.	[16]
Mar Adriático, Italia	50	Mayo – junio 2015	22.9	0.051	N.E.	[20]
Chipre	62	Mayo y agosto 2016 y 2017	59.4	0.21	N.E.	[18]
Bulgaria	1,000	2015 - 2016	29.7	0.01	N.E.	[17]

N/A = no aplica, N.E. = no especificado

Tabla 2 Continuación. Comparación de resultados con otras investigaciones

Lugar	Transecto (m)	Temporada	Proporción de colillas (%)	Concentración de colillas (pzas/m ²)	Marcas comunes	Referencia
Zipolite, Oaxaca	25	¹ Mayo 2018, octubre 2018 y abril 2019	² 61.8, 15 y 44.7	³ 0.095, 0.0038 y 0.033	N.E.	[21]
Zipolite, Oaxaca	25	Abril 2019 (jueves-domingo)	N/A	0.011 (promedio)	Marlboro (58%), Pall Mall (28%) y Montana (7%)	Este estudio

1 = se muestreo tanto sábado como domingo, 2 = En promedio para cada caso, 3 = promedio de ambos días muestreados, N/A = no aplica, N.E. = no especificado

4. Conclusiones

La presencia de colillas de cigarros en los diferentes entornos representa un problema a nivel mundial. Unos de los ambientes a los que han llegado son las playas, en el caso de las mexicanas las colillas representan el primer lugar de los tipos de residuos recolectados año con año en la LCI. En este sentido se realizó este trabajo en el cual se evaluó la variación de las concentraciones de colillas presentes en playa Zipolite durante cuatro días seguidos de semana santa, así como las marcas más comunes de colillas.

Los resultados del estudio realizado en playa Zipolite arrojaron que en promedio se recolectaron 76 colillas. La concentración más alta de colillas se encontró el domingo, con 0.014 piezas/m², mientras que la concentración más baja correspondió al jueves con 0.007 piezas/m². El análisis estadístico demostró que hay diferencias significativas (valor-P = 0.034) entre las medianas de las concentraciones por día de muestreo, esto probablemente se deba a que en semana santa las playas tienen mayor afluencia turística en fin de semana. Otra razón pudo ser que Zipolite es una playa en donde la actividad nocturna es común y por lo tanto el consumo de alcohol y tabaco es alto.

En cuanto a las marcas, se encontró que Marlboro y Pall Mall fueron las dos más comunes en todos los días de muestreo con un promedio de 58% y 28%, respectivamente, seguido de Montana con 7%.

Los estudios sobre la presencia de residuos en playas que incluyan colillas o se centren en la presencia de colillas son importantes, ya que ayudan a conocer en primer lugar las concentraciones presentes, también, como varían éstas con respecto a una temporada y los factores que inciden en su presencia. Si un estudio se realiza en temporada vacacional y otro en temporada no vacacional esto ayudaría a conocer si las concentraciones, al ser altas o bajas, se ven influenciadas por la temporada y la actividad antropogénica. Esto permitiría proponer un manejo adecuado de las mismas, de tal modo que se evite, en la medida que sea posible, su ingreso y por ende la contaminación que pueden causar al agua, suelo y la toxicidad a los organismos marinos.

Derivado de lo anterior, se recomienda realizar estos estudios en diferentes temporadas a lo largo del año para conocer cómo varían las concentraciones ante las actividades antropogénicas. Además, es indispensable realizar estudios sobre la toxicidad de los compuestos que lixivian las colillas, en organismos marinos típicos de la zona de estudio que no sólo tienen un importante valor económico, sino también ambiental.

Referencias Bibliográficas

- [1] VMC - Virtual Medical Centre. (2018). What's in a Cigarette?. En línea <<https://www.myvmc.com/lifestyles/whats-in-a-cigarette/>> Recuperado el 09/06/2020.
- [2] Food and Drug Administration. (2016). How A Cigarette is Engineered. En línea <<https://www.fda.gov/tobacco-products/products-ingredients-components/how-cigarette-engineered>> Recuperado el 09/06/2020
- [3] Araújo, M. y Costa, F. (2019). A critical review of the issue of cigarette butt pollution in coastal environments. *Environ. Research*, 172, 137–149. doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.005
- [4] Dobaradaran, S., Schmidt, T., Lorenzo-Parodi, N., Kaziur-Cegla, W., Jochmann, M., Nabipour, I., Lutze, H., y Telgheder, U. (2020). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) leachates from cigarette butts into water. *Environ. Pollution.*, 259, 113916. doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113916
- [5] WHO - World Health Organization. (2015). Tobacco control in Mexico. En línea <<https://www.who.int/tobacco/about/partners/bloomberg/mex/en/>> Recuperado el 09/06/2020
- [6] Campaign for Tobacco-Free Kids. (2019). The Toll of Tobacco in Mexico. En línea <<https://www.tobaccofreekids.org/problem/toll-global/latin-america/mexico>> Recuperado el 09/06/2020
- [7] Puls, J., Wilson, S., y Hölder, D. (2011). Degradation of Cellulose Acetate-Based Materials: A Review. *Journal of Polymers and Environt*, 19(1), 152–165. doi.org/10.1007/s10924-010-0258-0
- [8] Moerman, J., y Potts, G. (2011). Analysis of metals leached from smoked cigarette litter. *Tobacco Control*, 20(1), 30–35. doi.org/10.1136/tc.2010.040196
- [9] Slaughter, E., Gersberg, R., Watanabe, K., Rudolph, J., Stransky, C., y Novotny, T. (2011). Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish. *Tobacco Control*, 20(1), 25–29. doi.org/10.1136/tc.2010.040170
- [10] Novotny, T., Lum, K., Smith, E., Wang, V., y Barnes, R. (2009). Cigarettes butts and the case for an environmental policy on hazardous cigarette waste. *International Journal of Environment Research and Public Health*, 6(5), 1691–1705. doi.org/10.3390/ijerph6051691
- [11] Dobaradaran, S., Schmidt, T., Lorenzo-Parodi, N., Jochmann, M., Nabipour, I., Raeisi, A., Stojanović, N., y Mahmoodi, N. (2019). Cigarette butts: An overlooked source of PAHs in the environment?. *Environmental Pollution*, 249, 932–939. doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.097
- [12] Cámara de Diputados. (2016). Boletín N° 1846. En línea <<http://www5.diputados.gob.mx/index.php/esl/Comunicacion/Boletines/2016/Agosto/02/1846-En-Mexico-anualmente-se-generan-50-mil-millones-de-colillas-de-cigarro-la-mayoria-se-arroja-a-la-via-publica>> Recuperado el 09/06/2020
- [13] Ocean Conservancy. (2018). Building a clean swell. 2018 REPORT. USA. En línea <<https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2018/07/Building-A-Clean-Swell.pdf>> Recuperado el 09/06/2020
- [14] Ocean Conservancy. (2019). The Beach And Beyond - International Coastal Cleanup 2019 Report. En línea <<https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2019/09/Final-2019-ICC-Report.pdf>> Recuperado el 09/06/2020
- [15] Opfer, S., Arthur, C., and Lippiatt, S. (2012). NOAA Marine Debris Shoreline Survey Field Guide.
- [16] Kungskulniti, N., Charoenca, N., Hamann, S., Pitayarangsarit, S., y Mock, J. (2018). Cigarette

waste in popular beaches in thailand: High densities that demand environmental action. *International Journal of Environmetn Research and Public Health*, 15(4), 1–13. doi.org/10.3390/ijerph15040630

[17] Simeonova, A., y Chuturkova, R. (2019). Marine litter accumulation along the Bulgarian Black Sea coast: Categories and predominance. *Waste Management.*, 84,182–193.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.001

[18] Loizidou, X., Loizides, M., y Orthodoxou, D. (2018). Persistent marine litter: small plastics and cigarette butts remain on beaches after organized beach cleanups. *Environmental Monitoring and Assessment.*, 190(414), 1-10. doi.org/10.1007/s10661-018-6798-9

[19] Asensio-Montesinos, F., Anfuso, G., y Williams, A. (2019). Beach litter distribution along the western Mediterranean coast of Spain. *Marine Pollution Bulletin*, 141, 119–126. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.031

[20] Munari, C., Corbau, C., Simeoni, U., y Mistri, M. (2016). Marine litter on Mediterranean shores: Analysis of composition, spatial distribution and sources in north-western Adriatic beaches. *Waste Management.*, 49, 483–490. doi.org/10.1016/J.WASMAN.2015.12.010

[21] Cruz-Salas, A., Alvarez-Zeferino, J., Martínez-Salvador, C., Enríquez-Rosado, M., Gutiérrez-Ortiz, M., Vázquez-Morillas, A., y Ojeda-Benitez, S. (2020). Cuantificación y caracterización de microplásticos y residuos sólidos urbanos en playa Zipolite, Oaxaca. *Ciencia y Mar*, 24(71), 3–21.

Análisis de la presencia de residuos marinos en México desde 1989

¹Juan Carlos Alvarez Zeferino, ²Stephanie Sánchez Hernández, ³Arely Areanely Cruz Salas, ⁴Alethia Vázquez Morillas, ⁵Sara Ojeda Benítez

¹ Universidad Autónoma de Baja California. Calle Normal s/n Boulevard Benito Juárez. Col. Insurgentes Este, Parcela 44, 21100 Mexicali, B.C. juan.carlos.alvarez.zeferino@uabc.edu.mx. Teléfono. 5553189000 Ext. 2196 o 2273
^{2, 3, 4} Universidad Autónoma Metropolitana, ⁵ Universidad Autónoma de Baja California

Resumen

Los residuos marinos representan un problema de contaminación que aqueja a todos los litorales del mundo incluido México, que posee 11,122 km de litoral continental delimitado por los océanos Pacífico y Atlántico. Por otra parte, anualmente se realiza un evento de Limpieza de Internacional de Costas (LIC) en varios países del mundo, coordinado por Ocean Conservancy, una organización no gubernamental que desde 1989 organiza limpiezas costeras. Este estudio se realizó con el objetivo de analizar la información para México publicada en los reportes anuales de Ocean Conservancy, lo que permitió establecer tendencias referentes a esta problemática. Se encontró que de los 17 estados con apertura al mar sólo cuatro o cinco participan de manera regular, y que algunos parámetros han ido al alza (número de voluntarios, longitud recorrida) mientras que otros han ido en decremento (longitud recorrida por participante, piezas recolectadas/m). Los residuos recolectados han cambiado ya que en los 90 estaban constituidos principalmente por vidrio y madera, pero han sido rebasados por los plásticos. Las colillas de cigarro se han situado, desde 1995 hasta la fecha, dentro de las tres primeras posiciones de los residuos más comunes. En la última década además de las colillas también han sido recurrentes las tapas y botellas de plástico. Los resultados generados por Ocean Conservancy son de gran utilidad, debido a que permiten determinar tendencias y ordenes de magnitud de la contaminación por residuos en costas mexicanas.

18

Palabras Clave: Playas, plásticos, colillas de cigarros, Ocean Conservancy, limpieza costera

1. Introducción

Por definición, un residuo marino es todo material sólido persistente, que al terminar su vida útil llega al entorno marino o costero, ya sea porque fue desechado directamente en el ambiente o porque fue transportado por fuerzas externas [1]. Estos residuos son provenientes de fuentes terrestres o marinas; se ha encontrado que alrededor del 80% de residuos marinos provienen de fuentes terrestres, mientras que el 20% restante les corresponde a fuentes marinas [2].

Los residuos cuyo origen son las fuentes terrestres son transportados a los ambientes marinos por medio de escorrentías pluviales, desembocaduras de ríos o eventos naturales extremos como inundaciones, huracanes o tsunamis [3]. Por otro lado, las principales fuentes marinas son los barcos de pesca, cuyas redes y sedales suelen desecharse o perderse en el mar; los barcos recreativos o cruceros que cuando generan residuos y no tienen una correcta gestión los desechan al agua; las plataformas fijas que se ven afectadas por las corrientes constantes, las cuales pueden provocar pérdida de equipo como cascos, guantes y tuberías; y, por último, los barcos de carga o de mercancía que debido a eventos de alta energía pueden llegar a perder una gran variedad de objetos [4].

La presencia de residuos en el entorno marino y costero es riesgosa para los seres vivos que habitan en él, los residuos más grandes provocan asfixia, desórdenes alimenticios, lesiones físicas o se enredan en el cuerpo de los seres acuáticos, algunos pueden alterar las características del agua como su nivel de oxígeno o luz, creando un déficit en el crecimiento y desarrollo de vida marina (macro y microorganismos) [5].

En cuanto al monitoreo de residuos marinos en playas, en 1972 se fundó “The Delta Corporation”, por Bill Kardash, la cual se dedicó en un inicio a la protección de ballenas, focas y tortugas marinas. Años más tarde se amplió su enfoque y también se tomó en cuenta a la conservación del ecosistema, por lo que cambiaron su nombre a Ocean Conservancy. En 1986 Ocean Conservancy inició la recolección de residuos en playas de Estados Unidos, y posteriormente, a partir de 1989, se expandió a diferentes países, incluido México. Actualmente, Ocean Conservancy cuenta con millones de voluntarios de todo el mundo para limpiar las costas en un evento anual denominado Limpieza Costera Internacional (LCI) el cual cuenta con respaldo económico y científico y crece año con año [6].

En México, el primer estado en participar en la LCI fue Quintana Roo, posteriormente se sumaron Baja California, Colima, Sonora, Tamaulipas, Campeche, Yucatán y Jalisco. Sin embargo, los primeros cinco lo hacen de forma intermitente.

El objetivo del presente estudio fue analizar la información presentada en los reportes anuales de Ocean Conservancy para México, con la finalidad de identificar patrones y tendencias.

2. Metodología

Para realizar la investigación se consultaron y analizaron los reportes publicados desde 1989 hasta la fecha en el sitio web de Ocean Conservancy, [7]–[30]. Posteriormente se revisó cada reporte y se obtuvieron los datos de los siguientes parámetros por año:

- Estados de México que participaron en la LCI
- Número total de voluntarios
- Distancia total recorrida
- Masa total recolectada
- Número total de piezas recolectadas
- Los tres residuos más recurrentes

La información obtenida se capturó en una hoja de cálculo y se analizó por año para cada parámetro. Con la finalidad de comparar los resultados entre años y determinar tendencias, se normalizaron algunos parámetros en términos de longitud (número de piezas, número de voluntarios y masa recolectada).

3. Análisis y discusión de resultados

En la Figura 1 se presentan los estados que en el periodo analizado han participado en la LCI, sin embargo, es relevante aclarar que al referirse a los estados no significa en toda la costa de éste se realice la LCI, sino solo en algunas localidades o municipios. Los resultados muestran que sólo ocho de los 17 estados que cuentan con apertura al mar han tomado parte, lo cual representa un 47% de participación nacional.



Figura 1. Estados que han participado en la LCI en México desde 1989

En cuanto al número de participación de estados por año (Figura 2), existe una variación a lo largo del tiempo, con una tendencia constante para los tres últimos años (cinco estados). En el 2004 se presentó la mayor participación de estados (seis) mientras que en sus inicios (1989-1991) sólo se tenía la intervención de Quintana Roo. El número más común en participaciones es cinco estados (en 10 ocasiones), seguido de cuatro estados (ocho). En cuanto a los años 1997, 1998 y 2000 este dato no fue reportado.

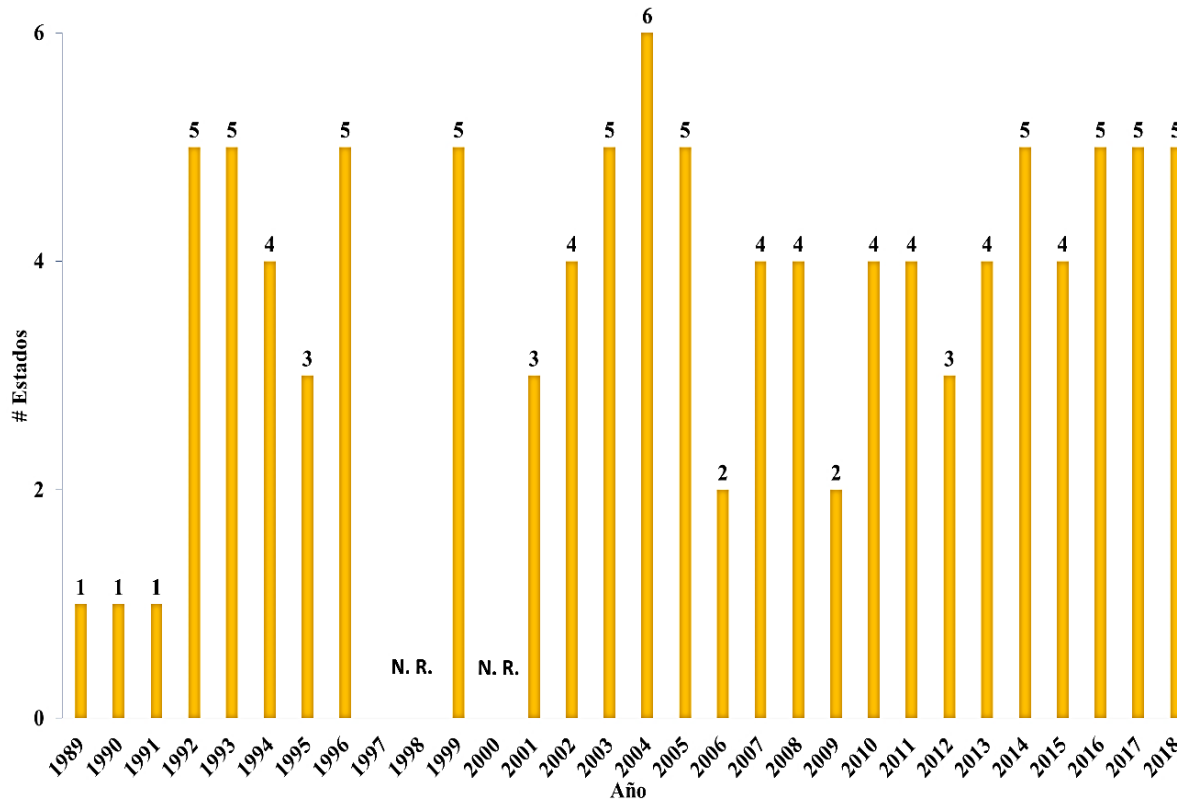


Figura 2. Número de estados participantes por año

El gráfico del número de voluntarios por año se muestra en la Figura 3. La tendencia en general ha ido al alza. En sus inicios (1989 – 1992) el número de voluntarios se mantuvo en el orden de centenas, al siguiente año incremento pasando del orden de centenas a millares el cual es el que ha prevalecido hasta la fecha. Los tres años que han presentado mayor número de voluntarios han sido 2016, 2015 y 2012 con 20,588; 17,989 y 16,945 voluntarios, respectivamente.

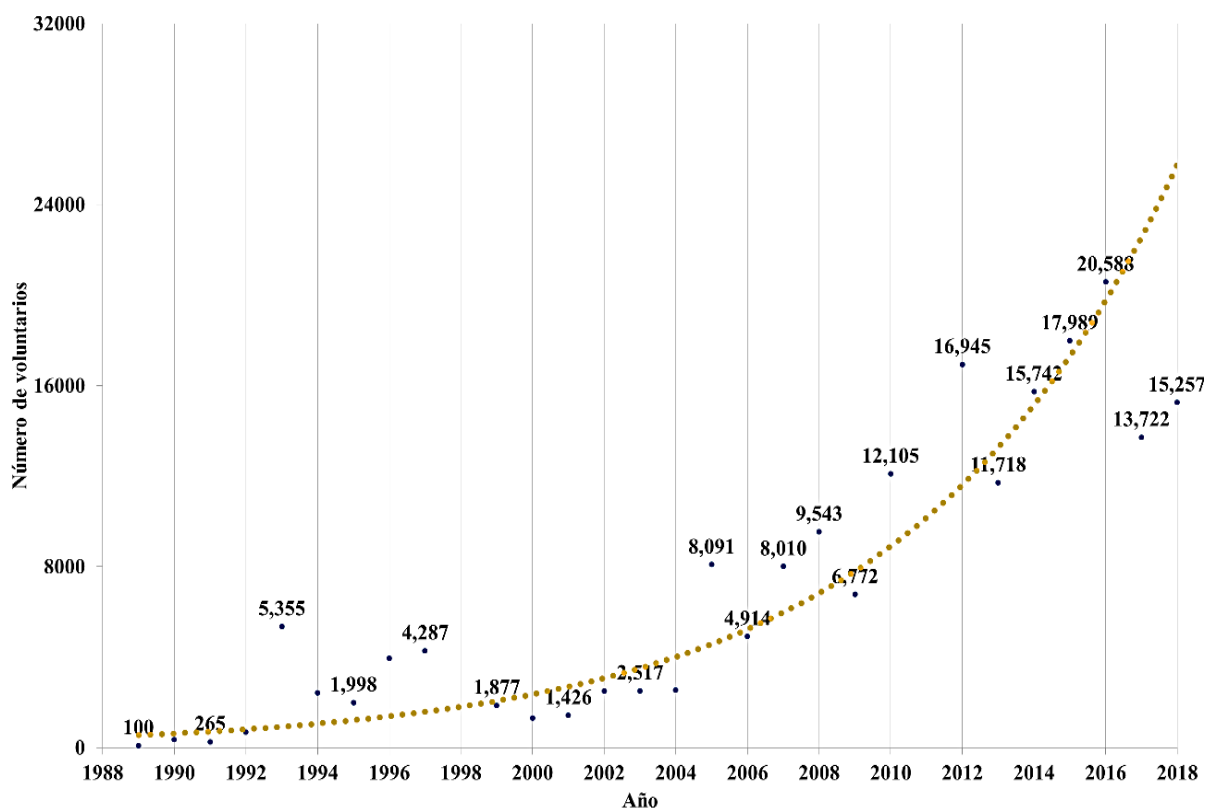


Figura 3. Número de voluntarios por año

Los datos de la longitud recorrida por año se muestran en la Figura 4, la tendencia que siguen los datos es aumentar el recorrido de kilómetros. La menor distancia recorrida fue en 1989, ya que sólo se recorrió 1 km. En el caso de la mayor distancia recorrida ocurrió en el 2007 con 1,850 km lo cual representa un aumento de aproximadamente ocho veces con relación a 2006. Si se compara esta longitud con las más recientes (2016 - 2018) el valor sigue siendo muy grande, analizando el número de voluntarios en el 2007 se observa que no fue tan alto como en otros años, por lo que se tiene la hipótesis que probablemente existió un error en la captura de los resultados.

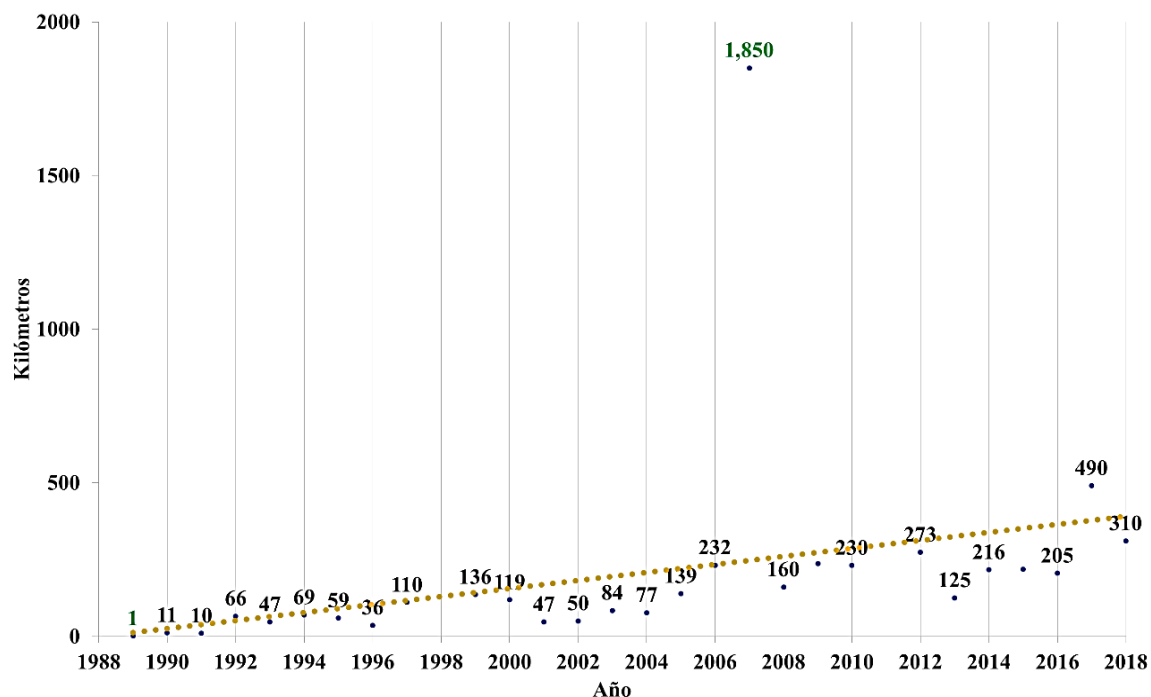


Figura 4. Longitud recorrida por año

En cuanto a la longitud recorrida por cada participante, se observa que la tendencia va a la baja. Lo que significa que los voluntarios cada vez recorren menos longitud en la recolección (Figura 5). Lo anterior se podría deber a que en los eventos actuales se están recolectando fragmentos de residuos, lo cual involucra más tiempo de recolección y por ende, menos longitud recorrida. Por otro lado, se observa que antes de 2010 se tenían longitudes superiores a los 17 m, salvo en algunos casos, sin embargo, de 2012 a 2016 el valor disminuyó y en los dos últimos años se observa que ha ido en aumento.

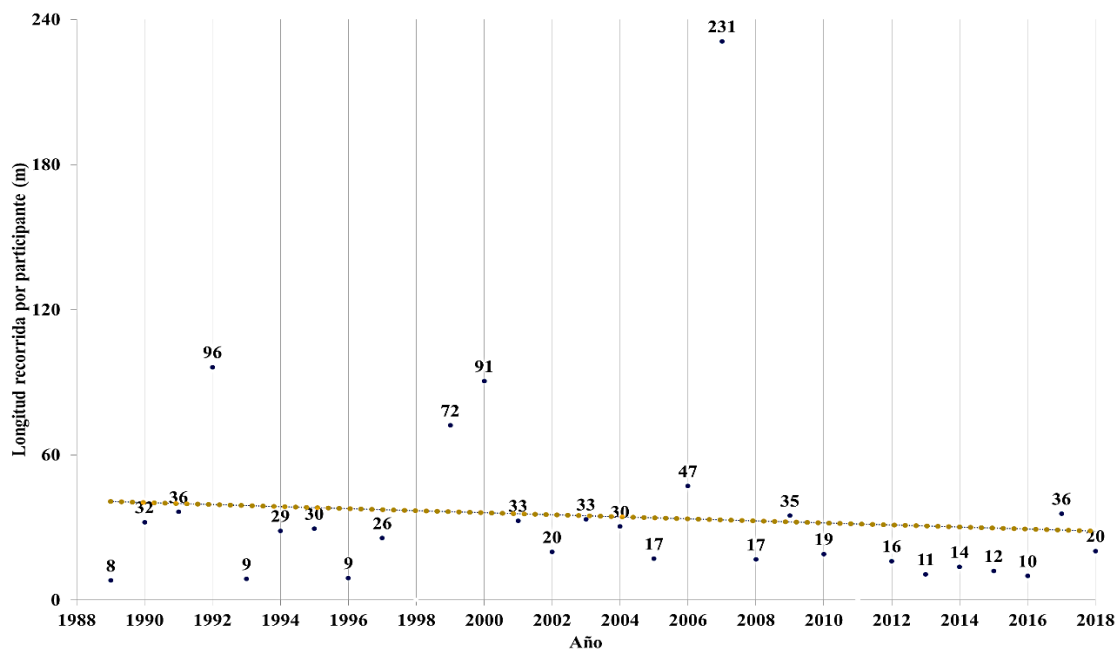


Figura 5. Longitud recorrida por participante por año

Las concentraciones de residuos en términos de piezas/m_{lineal} se presentan en la Figura 6 en la cual también se observa una tendencia a la baja, sin embargo, esto no significa que actualmente las playas están menos contaminadas. En el resultado deben considerarse otros factores que pueden repercutir en las recolecciones, por ejemplo, las LIC son llevadas a cabo por voluntarios de todas las edades, en algunos estados se convocan a niños [6] quienes después de cierto tiempo pueden perder el interés de recolección o distraerse. Otro factor es el tamaño de los residuos, ya que, a menor tamaño es más difícil observar o en ocasiones la gente considera que no vale la pena el esfuerzo que se hace para recogerlo. Esos factores podrían ocasionar que no todos los residuos presentes se recolecten, por lo que los datos podrían ser subestimados.

En cuanto a las mayores concentraciones estas se encontraron en 1989 con 8.4 piezas/m, mientras que la menor se registró en 2007 con un valor de 0.1 piezas/m.

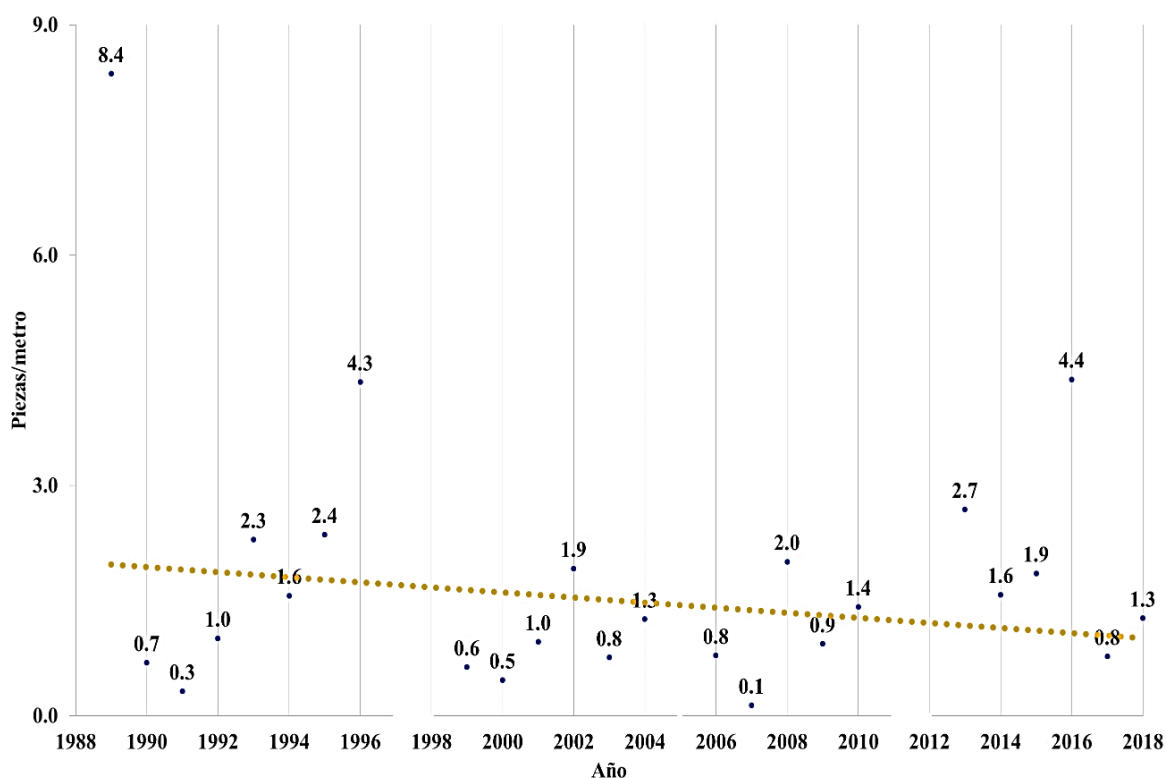


Figura 6. Relación piezas/metro por año

En la Figura 7 se presenta la relación entre el número de piezas recolectadas y su masa, al igual que en los dos gráficos anteriores la tendencia disminuye, y es atribuida principalmente a los materiales que constituyen los residuos. En los 90s algunos de los materiales más comunes eran vidrio y madera, posteriormente fueron cambiando por otros más ligeros como los plásticos.

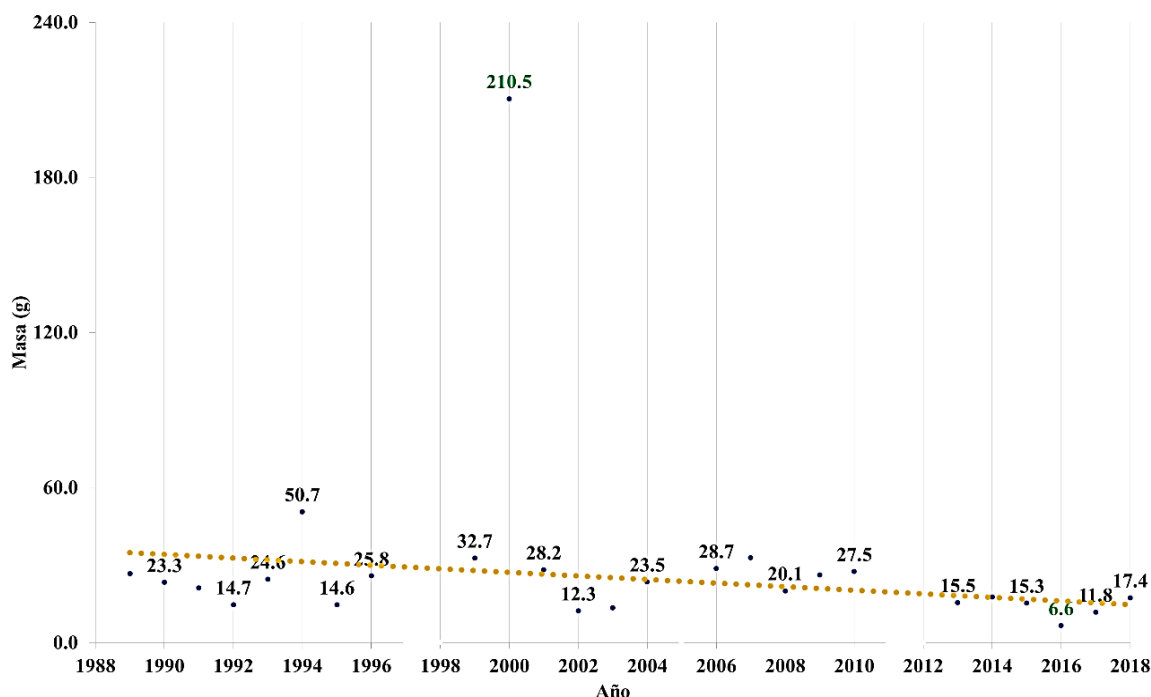


Figura 7. Relación piezas/masa por año

En la Tabla 1 se presentan los tres residuos más recurrentes por año. Se observa que en la década de los 90s se encontraban residuos que actualmente no se encuentran en tales proporciones, como es el caso de los residuos de madera o las botellas de vidrio, las cuales eran uno de los residuos más comunes hasta 2001, posteriormente se observa una transición hacia residuos plásticos. La aparición de las colillas dentro de las tres primeras posiciones data desde 1995, y se ha mantenido así hasta el presente. Desde el 2009 hasta la fecha en las tres primeras posiciones se han mantenido las colillas, botellas de plástico y tapas de plástico.

Tabla 1. Tres residuos más recurrentes por año

Año	Residuos		
1989	Botellas de vidrio (22.51%)	Botellas de plástico (13.48%)	Tapas de plástico (9.39%)
1990	Bolsas de plástico para residuos (14.39%)	Botellas de vidrio (13.55%)	Bolsas de plástico de supermercado (13.26%)
1991	Tablas de madera (16.02%)	Botellas de vidrio (14.55%)	Otras bolsas de plástico (14.37%)
1992	Popotes/agitadores (12.98%)	Tapas de plástico (12.83%)	Bolsas de plástico para residuos (11.68%)
1993	Botellas de vidrio (16.08%)	Popotes/agitadores (13.68%)	Tapas de plástico (11.45%)
1994	Popotes/agitadores (13.22%)	Bolsas de plástico para residuos (13.20%)	Botellas de vidrio (11.62%)
1995	Tablas de madera (16.34%)	Botellas de vidrio (14.26%)	Colillas (12.61%)
1996	Bolsas de plástico de supermercado (12.96%)	Bolsas de plástico para residuos (12.95%)	Botellas de vidrio (12.65%)
1997	Datos no reportados		

Tabla 1. Los tres residuos más recurrentes por año. Continuación

1998	Datos no reportados		
1999	Colillas (26.71%)	Utensilios/contenedores de plástico (16.96%)	Tapas de metal (13.38%)
2000	Botellas de plástico (14.74%)	Colillas (13.90%)	Popotes/agitadores (12.04%)
2001	Tapas de plástico (22.23%)	Botellas de vidrio (19.38%)	Bolsas de plástico de supermercado (16.03%)
2002	Colillas (25.60%)	Bolsas (14.03%)	Tapas de plástico (12.24%)
2003	Colillas (22.94%)	Tapas de plástico (16.17%)	Bolsas (14.55%)
2004	Tapas de plástico (23.47%)	Colillas (16.79%)	Botellas de plástico (15.36%)
2005	Datos no reportados		
2006	Colillas (49.66%)	Tapas de plástico (12.77%)	Bolsas (9.24%)
2007	Botellas de plástico (20.99%)	Bolsas (20.12%)	Tapas de plástico (15.87%)
2008	Botellas de plástico (19.97%)	Tapas de plástico (18.04%)	Otras bolsas de plástico (16.43%)
2009	Colillas (21.72%)	Botellas de plástico (18.31%)	Tapas de plástico (15.27%)
2010	Tapas de plástico (20.78%)	Colillas (18.31%)	Botellas de plástico (16.98%)
2011	Datos no reportados		
2012	Datos no reportados		
2013	Colillas (31.69%)	Tapas de botellas de plástico (18.82%)	Botellas de plástico (14.57%)
2014	Colillas (31.16%)	Botellas de plástico (15.56%)	Tapas de botellas de plástico (14.31%)
2015	Colillas (32.10%)	Botellas de plástico (13.69%)	Tapas de botellas de plástico (12.19%)
2016	Botellas de plástico (73.55%)	Colillas (10.59%)	Tapas de botellas de plástico (3.65%)
2017	Colillas (29.05%)	Tapas de botellas de plástico (19.30%)	Botellas de plástico (15.18%)
2018	Colillas (38.40%)	Tapas de botellas de plástico (15.87%)	Botellas de plástico (13.76%)

4. Conclusiones

La Limpieza Costera Internacional es un gran esfuerzo llevado a cabo a nivel mundial, lamentablemente en México existe una participación escasa ya que este evento sólo es llevado a cabo en localidades de cuatro o cinco estados, de manera constante, de los 17 que poseen costa.

El número de voluntarios ha aumentado al igual que la distancia recorrida, sin embargo, esto no significa que la eficiencia aumente, ya que, en el caso de la longitud recorrida por participante ha ido decreciendo,

lo cual podría implicar que se están considerando otro tipo de residuos como los fragmentos, los cuales requieren de mayor tiempo para ser recolectados.

Por otro lado, se observó un cambio en cuanto a los materiales de los residuos, en los 90s la masa de los residuos era mayor porque estaban constituidos principalmente por vidrio y madera, sin embargo, ahora estos materiales han sido reemplazados por los plásticos, que son más ligeros.

Las colillas de cigarros aparecieron dentro de las tres primeras posiciones desde 1995 y hasta la fecha se han mantenido así, ya que, en la última década los tres residuos más recurrentes además de incluir a las colillas también incluyen a las tapas de plástico y botellas de plástico.

Los resultados presentados por Ocean Conservancy son resultado de la participación voluntaria de los ciudadanos, por lo cual deben ser manejados con cuidado al estimar cifras sobre la contaminación de residuos marinos en mares y costas de México; no obstante, permiten establecer tendencias y ordenes de magnitud de tal problemática ambiental.

Referencias Bibliográficas

- [1] IMO - International Maritime Organization, “Basura marina,” 2020. .
- [2] EPA - Environmental Protection Agency, “Orígenes y consecuencias de la basura acuática,” 2017.
- [3] NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, “Sources,” Mar-2020. .
- [4] Ocean Conservancy and NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, “Taking trash & taking action,” 2017.
- [5] Ambiente Europeo, “Basuras marinas,” 2016. .
- [6] Ocean Conservancy, “About Us - Ocean Conservancy.” .
- [7] Ocean Conservancy, “Cleaning North America’s Beaches, 1989 Beach Cleanup Results,” 1990.
- [8] Ocean Conservancy, “Cleaning North America’s Beaches, 1990 Beach Cleanup Result,” Washington, D.C., 1991.
- [9] Ocean Conservancy, “2000 International Coastal Cleanup Results,” Washington, D.C., 2001.
- [10] Ocean Conservancy, “2001 International Coastal Cleanup Results,” Washington, D.C., 2002.
- [11] Ocean Conservancy, “2002 International Coastal Cleanup Results,” Washington, D.C., 2003.
- [12] Ocean Conservancy, “2003 International Coastal Cleanup Results,” Washington, D.C., 2004.
- [13] Ocean Conservancy, “1991 International Coastal Cleanup Results,” Washington, D.C., 1992.
- [14] Ocean Conservancy, “1992 International Coastal Cleanup Results,” Washington, D.C., 1993.
- [15] Ocean Conservancy, “1993 International Coastal Cleanup Results,” Washington, D.C., 1994.
- [16] Ocean Conservancy, “1994 International Coastal Cleanup Results,” Washington, D.C., 1995.
- [17] Ocean Conservancy, “1995 International Coastal Cleanup Results,” Washington, D.C., 1996.
- [18] Ocean Conservancy, “1996 International Coastal Cleanup Results,” Washington, D.C., 1997.
- [19] Ocean Conservancy, “1997 International Coastal Cleanup Results,” Washington, D.C., 1998.
- [20] Ocean Conservancy, “1999 International Coastal Cleanup Result,” Washington, D.C., 2000.
- [21] Ocean Conservancy, “2004 International Coastal Cleanup Results,” Washington, D.C., 2005.

- [22] Ocean Conservancy, “2005 Report: Cleanup Results,” Washington, D.C., 2006.
- [23] Ocean Conservancy, “2006 Report: A World of Difference,” Washington, D.C., 2007.
- [24] Ocean Conservancy, “2007 Report: Start a Sea Change,” Washington, D.C., 2008.
- [25] Ocean Conservancy, “2009 Report: A Rising Tide of Ocean Debris,” Washington, D.C., 2010.
- [26] Ocean Conservancy, “2010 Report: Trash Travels,” Washington, D.C., 2011.
- [27] Ocean Conservancy, “2011 Report: Tracking Trash 25 Years of Action for the Ocean,” Washington, D.C., 2012.
- [28] Ocean Conservancy, “2012 Report: Tackling Ocean Trash at Its Source,” Washington, D.C., 2013.
- [29] Ocean Conservancy, “2013 Report: Working for Clean Beaches and Clean Water,” Washington, D.C., 2014.
- [30] Ocean Conservancy, “2014 Report: Turning the Tide on Trash,” Washington, D.C., 2015.
- [31] Ocean Conservancy, “2015 Report: Every piece, every person,” Washington, D.C., 2016.
- [32] Ocean Conservancy, “2016 Report: 30th Anniversary,” Washington, D.C., 2017.
- [33] Ocean Conservancy, “2017 Report: Together for Our Ocean,” Washington, D.C., 2018.
- [34] Ocean Conservancy, “2018 Report: Building a Clean Swell,” Washington, D.C., 2019.
- [35] Ocean Conservancy, “2019 Report: The Beach and Beyond,” Washington, D.C., 2020.

Caracterización de residuos sólidos generados en áreas de la cafetería central de la Universidad Autónoma de Guadalajara

¹José Adalberto Rosas Martínez, ¹María del Rosario Maldonado Montes de Oca, ²Carlos Javier Escudero Santiago

¹ Escuela Superior en Desarrollo Sustentable, Universidad Autónoma de Guerrero, Carretera Federal Acapulco-Zihuatanejo Km 106+900, Col. Las Tunas, C.P. 40900, Tecpan de Galeana, Guerrero, 52+ 742 425 8743. 10265162@uagro.mx.

²Universidad Autónoma de Guadalajara

Resumen

El estudio del Diagnóstico Básico de la generación de residuos realizado en la Cafetería Central de la Ciudad Universitaria de la UAG representa una importante área de oportunidad, ya que se carece de estudios previos sobre la generación de Residuos Sólidos (RS), que por la cantidad cuantificada se sugiere que rebasa las 10 toneladas anuales (150 kg/día) y convierte al sitio en fuente de Residuos de Manejo Especial, sujetos a la NOM-161-SEMARNAT-2011. Aunque existe una empresa recolectora de residuos, dicha cafetería debe ser responsable de la formulación de un Plan de Manejo para sus residuos, como lo menciona la citada norma. Las tres secciones de la cafetería universitaria donde se desarrolló el estudio correspondieron al *área de cocina*, donde 85% de los residuos son orgánicos; *Café La Flor de Córdoba*, donde se identificó que el 80% de los residuos ahí generados corresponden a la categoría de mezclado; y el *área del comedor*, donde se analizó que el 55% del residuo total generado es de tipo orgánico. Una vez finalizada la investigación se pudo corroborar que en las tres secciones de la cafetería estudiadas se generan importantes residuos que corresponden a materiales con alto potencial de valorización y que actualmente no se realiza un aprovechamiento interno.

28

Palabras Clave: *Diagnóstico Básico, Residuos de Manejo Especial, Plan de Manejo de residuos, Responsabilidad compartida, Potencial de reciclaje.*

1. Introducción

En México, la cifra reportada sobre la generación de Residuos Sólidos urbanos (RSU) en 2017 fue de 102,895.00 toneladas, de los cuales se recolectaba el 83.93% y 78.54% se disponían en sitios de disposición final, reciclando menos del 10% de éstos. En el país, sigue predominando el manejo básico de los RS que consiste en recolectar y disponerlos en sitios de disposición final, desaprovechando aquellos susceptibles a reincorporarse al sistema productivo, lo que disminuiría la demanda y explotación de nuevos recursos [1]. La NOM-161-SEMARNAT-2011 establece como instrumentos regulatorios de política ambiental a los Planes de Manejo, que inducen a productores, exportadores, importadores y distribuidores de productos a tomar acciones encaminadas a maximizar el aprovechamiento y la valorización de los residuos con base en estrategias y acciones que deberán ser técnica, ambiental, económica y socialmente aceptables [2]. El objetivo del Plan de Manejo de Residuos de Manejo Especial es minimizar la generación y maximizar el aprovechamiento de RS con alto potencial de reciclaje, además de establecer la responsabilidad compartida involucrando a los productores, comercializadores, consumidores etc., bajo los criterios de eficiencia ambiental, económica y social [3]. En lo que corresponde a la Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG), que es donde se realizó el estudio, es importante destacar que el servicio de esta primera institución privada en México abarca de manera integrada todos los niveles educativos, desde preescolar hasta doctorado; contando con una matrícula de más de 12,000 alumnos, esto solo en Ciudad Universitaria (C.U.) ubicada en Zapopan, Jalisco. Dentro de la UAG se encuentran áreas que brindan servicio de venta de alimentos, siendo la Cafetería Central de la

Ciudad Universitaria (CC-CU) el punto más importante en este rubro, dividiéndose en tres áreas identificadas: la zona de la cocina, el área del comedor y un establecimiento adjunto conocido como “Café La Flor de Córdoba”.

Hasta el verano de 2019, la CC-CU de la UAG atendía diariamente alrededor de 1,000 personas, lo que podría asumirse como un gran generador de RS, considerando que pudiera producir más de 10 toneladas anuales [2]. Por lo anterior, el realizar un primer estudio de caracterización de los residuos sólidos que se generan en esta área de la Universidad Autónoma de Guadalajara representa un paso importante dentro del Diagnóstico Básico que, de seguir estos estudios, pudiera enmarcarse en un futuro dentro de un Plan de manejo de residuos.

2. Metodología

El presente proyecto de investigación forma parte de un estudio cuantitativo de la caracterización de los residuos sólidos producidos en la CC-CU de la Universidad Autónoma de Guadalajara, lugar donde se genera la mayor parte de los residuos debido al gran número de usuarios que frecuentan diariamente dichas instalaciones, en torno a 1000 personas. Inicialmente se dialogó con el personal responsable de la CC-CU para establecer los términos y condiciones de las actividades involucradas al proyecto, quien además facilitó el contacto con las personas encargadas de las tres áreas de estudio. En la Figura 1, se muestra una imagen del croquis de la cafetería central de Ciudad Universitaria de la Universidad Autónoma de Guadalajara, identificando las tres áreas de trabajo: (A) Área de cocina, (B) Área del comedor y (C) Café la Flor de Córdoba.

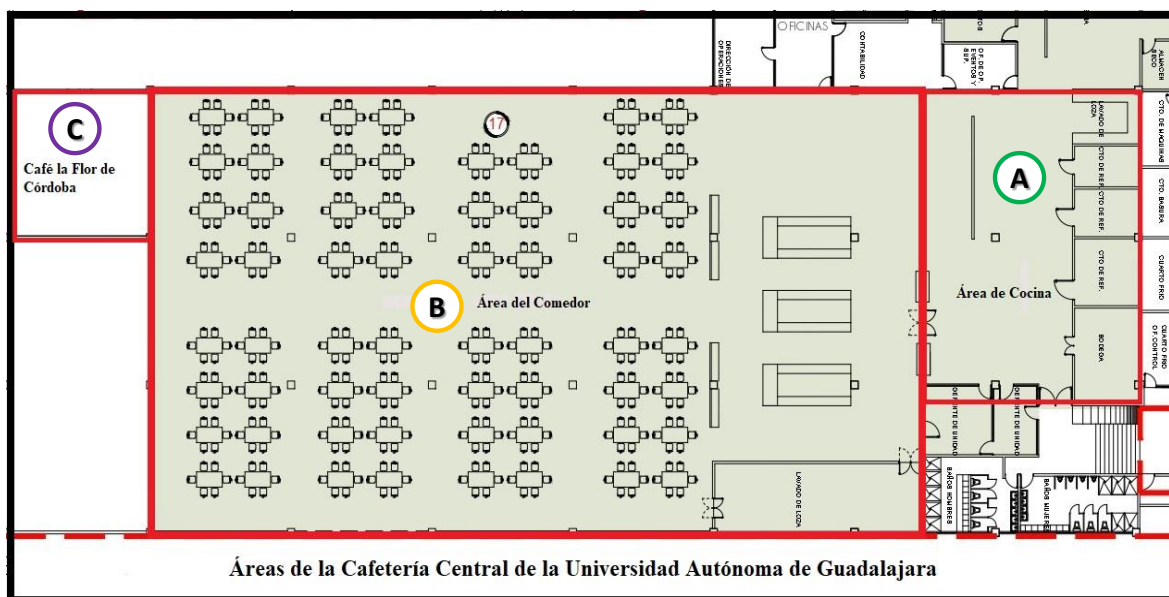


Figura 1. Croquis de la Cafetería Central de Ciudad Universitaria de la UAG (UAG, 2019)

Posteriormente, se realizó una primera visita para evaluar la forma actual del manejo de los residuos y fijar los días y horarios de trabajo. Con lo anterior, para el área de cocina de la CC-CU se establecieron cuantificaciones en siete días hábiles de la semana duplicando los días miércoles y viernes, siendo los horarios establecidos las 11 h y 13 h, para realizar dos muestras por día. En el caso del “Café La Flor de Córdoba”, la cuantificación fue llevada a cabo en los mismos días, pero en semanas posteriores repitiendo el muestreo los martes y miércoles, teniendo tres horarios de rutina: 11 h, 13 h y 21 h. Para el área de comedor, que es la zona más concurrida, se llevó a cabo la actividad por solo tres días de la semana con solo una muestra al día con el horario de 17 h. Como parte de la metodología es importante comentar que en cada una de las áreas de muestreo se observaron inicialmente los tipos de residuos generados y el

número de contenedores disponibles para depositarlos. De esta manera se tomaron estrategias para agilizar la cuantificación. Los pasos seguidos para el muestreo fueron:

Recibidas las bolsas de cada una de las áreas se destinaron a pesarlas en una báscula digital (MAIN STAYS®) con capacidad de 150 kg. La forma de separación de los residuos que pudiesen estar mezclados se basó de acuerdo con las especificaciones de la NMX-AA-22-1985 [4]. La separación también se realizó manualmente y mediante el método de cuarteo realizando una adaptación de lo que menciona la NMX-AA-015-1985 [5].

Los residuos generados en menor cantidad y de baja masa, fueron pesados en una balanza granataria (OHAUS) con capacidad de 610 g para obtener su registro en peso con precisión.

Los datos obtenidos en los muestreos fueron registrados en un formato de campo, ordenándolos en tres categorías de acuerdo a la naturaleza de los residuos (Orgánicos, Inorgánicos, Valorizables y Subproductos).

La información obtenida del muestreo fue procesada en hoja de cálculo electrónico para su posterior comparación y análisis de resultados, mediante estimaciones de generación de residuos por día, en cinco días, un mes y diez meses.

Es importante señalar que para este ejercicio se utilizó el equipo de protección personal pertinente, como guantes de carnaza, guantes de látex con recubrimiento, batas de laboratorio, cubrebocas y calzado de seguridad.

En la Figura 2, del lado izquierdo, se muestran los materiales utilizados en el presente estudio, donde se puede observar las balanzas granataria y digital, pala para el mezclado de residuos, bolsas negras de polietileno, guantes, y parte del equipo de protección personal. Por otra parte, en esta misma figura del lado derecho aparece el equipo de trabajo que desarrolló el trabajo de rutina.



Figura 2. Materiales utilizados para el muestreo de los residuos sólidos (izq) y equipo de trabajo (der).

2.1 Fórmulas y ecuaciones

Para determinar los resultados totales de peso en kilogramos y el porcentaje de los residuos generados, primero se sumaron el total de las muestras realizadas en un día, posteriormente se sumaron los resultados de los días de muestreo para obtener el peso total los RS generados y el porcentaje que le corresponde a cada clasificación y subproducto.

A continuación, se presentan las fórmulas para obtener el peso total de residuos y de cada subproducto de acuerdo a los días de muestreos en el área de cocina, el área Café la Flor de Córdoba y el área del comedor (sabiendo que fue el área con menos muestreos):

$$\text{Suma de las muestras por día} = \text{Total de peso de RS generado (kg/día)} \quad (1)$$

$$\text{Suma del peso diario de muestreo} = \text{Peso total (kg) generados en días cuantificados} \quad (2)$$

$$\% \text{ total de RS generados} = \frac{\text{Peso total (kg) de cada clasificación y/o subproducto de RS en el total de días} \times 100}{\text{Peso total (kg) de todos los RS generados en el total de días cuantificados}} \quad (3)$$

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de los días de caracterización y cuantificación de cada área, donde se corroboró que la categoría de *residuos orgánicos* es muy representativa en el área de Cocina y el área del Comedor, mientras que en el área del Café la Flor de Córdoba representó el 6.3% del total de los residuos generados, debido a que éstos no fueron separados para su posterior pesado.

Existen algunos materiales que no se producen en grandes cantidades o que se encuentran en la categoría de *mezclado*, por lo que al no poder ser separados se reportó como 0 kg/día su cuantificación, tal es el caso de la clasificación de platos biodegradables, papel aluminio y servilletas con restos.

Tabla 1. Generación de RS en áreas de la Cafetería Central de Ciudad Universitaria de la UAG

Categorías y/o Subproductos	Área de Cocina		Área del Café La Flor de Córdoba		Área del Comedor	
	kg/7 días	%	kg/7 días	%	kg/3 días	%
Cáscaras de frutas, verduras y residuos de alimentos	568.0	85.1	9.0	6.3	43.4	36.4
Papel y cartón	3.8	0.6	16.3	11.4	2.2	1.9
Otros (Platos biodegradables)	0	0	0	0	3.0	2.5
Aluminio	8.2	1.2	1.2	0.9	0.8	0.6
Papel aluminio	0	0	0	0	0.2	0.2
Plástico PET (1)	0.6	0.1	2.4	1.7	12.9	10.8
Plástico PEAD-HDPE (2)	16.0	2.4	0	0	0.2	0.1
Bolsas de plástico LDPE (4)	48.0	7.2	0	0	10.3	8.7
Plástico PP (5)	0.4	0.1	0.7	0.5	13.6	11.4
Plástico PS (Unicel) (6)	0.2	0.0	0.5	0.4	2.0	1.7
Tetrapak	0.3	0.0	0.2	0.1	1.1	0.9
Vidrio	0.7	0.1	0.3	0.2	7.7	6.5
Servilletas con restos	0	0	0	0	21.7	18.2
Mezclado (Orgánicos, bolsas de frituras, servilletas, celofán, etc.)	21.2	3.2	112.2	78.6	0	0
Totales	667.4	100	142.8	100	119.1	100

PET: Polietileno, PEAD-HDPE: Polietileno de alta densidad, LDPE: Polietileno de baja densidad, PP: Polipropileno, PS: Poliestireno.

En la primera zona de estudio “Área de Cocina” se determinó la generación de 667.4 kg de residuos resultante de la suma de las 14 muestras de los siete días cuantificados, además se calculó que en

promedio en esta área se genera 95.3 kg de residuos/día. Es interesante señalar que la mayor parte del residuo ya separado proveía de esta área, dado que en el primer acercamiento al personal de cocina éstos mostraron disposición para facilitar esta tarea. En la Figura 3, se pueden observar imágenes de los residuos provenientes de esta área.



Figura 3. Residuos separados provenientes del área de cocina de la CC-CU de la UAG

En la Figura 4 se muestra el porcentaje de los kilogramos de la generación total de cada subproducto. La mayor parte de la generación de residuos pertenece a la categoría de *orgánicos*, representando el 85.1% del total. Además, se corroboró que más del 50% de los residuos orgánicos tienen potencial de ser aprovechados en sistemas de compostaje. El 30% del total cuantificado corresponde a cáscaras de cítricos. En cuanto a la generación de las bolsas de plástico con el 7.2% el cual es representativo, sin embargo, no es un material altamente reciclable para ser aprovechado. Mientras que el resto de los residuos tiene una menor cantidad por debajo de 4% kg de su generación (Figura 4).

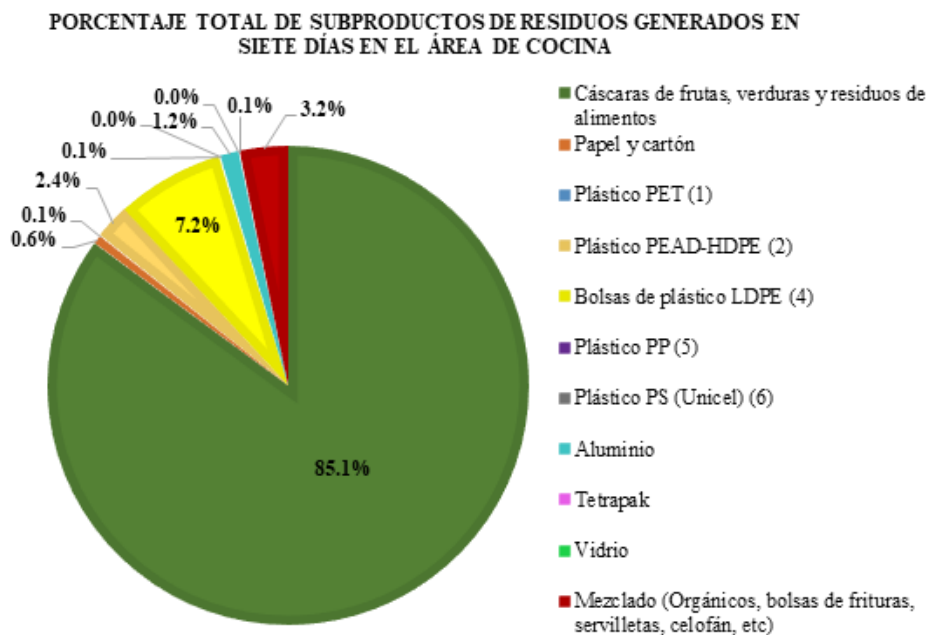


Figura 4. Porcentaje total de RS generados en el área de cocina de la CC-CU de la UAG.

En cuanto, a la tasa de generación en “La Flor de Córdoba” se cuantificó un total de 142.8 kg de residuos generados durante siete días de muestreo y con un promedio de 20.4 kg de residuos/día. En la Figura 5, se presentan imágenes de los residuos generados en esta área de muestreo y su separación.



Figura 5. Residuos generados en el establecimiento “Café La Flor de Córdoba” de la CC-CU de la UAG (izquierda) y separación manual de estos residuos (derecha).

La mayor parte de los residuos de “La Flor de Córdoba” se encuentran en la subclasificación de *mezclado*, con un porcentaje de prácticamente el 80% correspondiente a bolsas de frituras, servilletas, popotes, cucharas de plástico, Tetrapak y orgánicos conformados mayormente por residuos de granos molidos de café. El segundo tipo de residuos que se genera en este establecimiento es *papel y cartón*, alcanzando sólo el 11% pero con alto potencial de valorización (ver Figura 6).

PORCENTAJE TOTAL DE RESIDUOS GENERADOS EN SIETE DÍAS DE CUANTIFICACIÓN EN EL ÁREA DEL “CAFÉ LA FLOR DE CÓRDOBA”

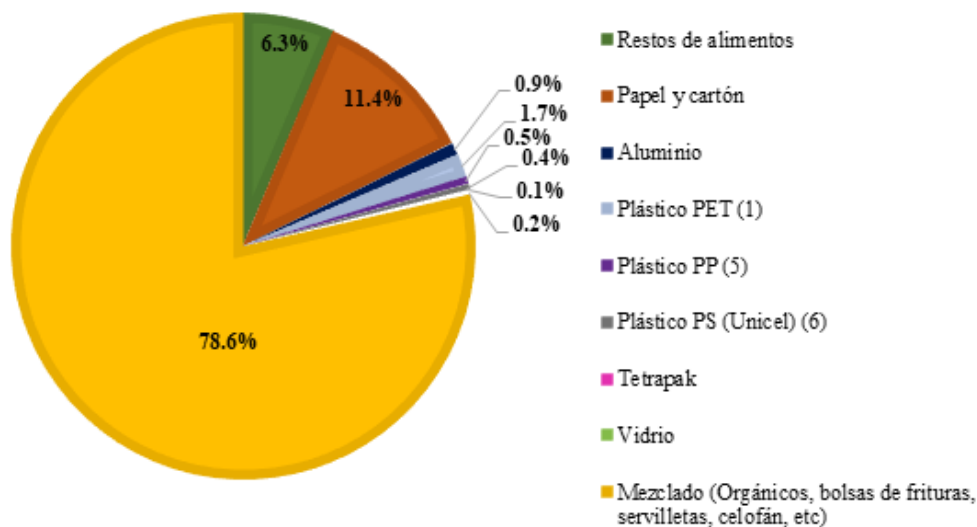


Figura 6. Porcentaje total de RS generados en siete días en el área Café la Flor de Córdoba.

La generación total de RS en el “Área de Comedor” fue de 119.1 kg en la suma de tres días de muestreo con un promedio de 39.7 kg de residuos/día. En la Figura 7, se observan dos imágenes que corresponden a los residuos generados en esta área y al de la tarea de la separación por el método de cuarteo. De los residuos cuantificados en esta área los más representativos son los residuos orgánicos con el 41%, de los cuales 89% son residuos provenientes de alimentos. Le sigue la subclasificación de *servilletas con restos* que representa el 18% del total de la generación, después el plástico *PP* con el 11.4% y *PET* con el 10.8% del total. Estos resultados se encuentran representados en la Figura 8.



Figura 7. Residuos generados en el área del comedor de la CC-CU de la UAG (izquierda) y separación por el método de cuarteo de estos residuos (derecha).

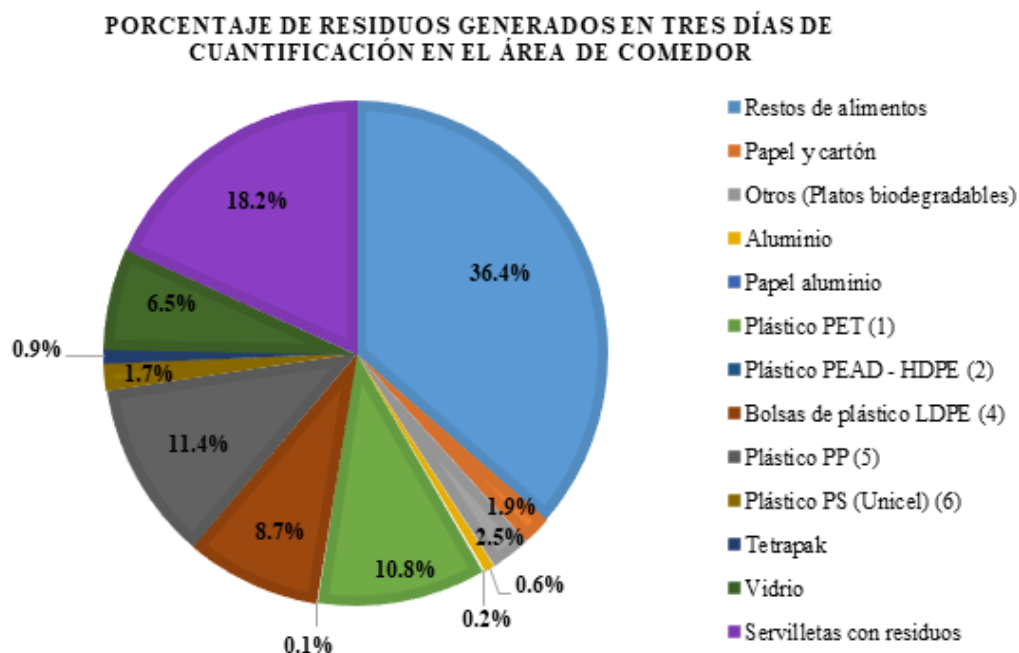


Figura 8. Porcentaje total de RS generados en siete días en el área del comedor

Para relacionar el comportamiento en cuanto a la cantidad de residuos que se pudieran estar generando en cada una de las tres áreas estudiadas de la CC-CU, se realizó una estimación con los datos diarios calculados, a cinco días, un mes y diez meses de operación, representando el servicio de la venta de alimentos a los usuarios en días normales.

Los datos de tales estimaciones aparecen en la Tabla 2, donde se puede corroborar que el área de cocina genera cuatro veces más residuos que las otras dos áreas, teniendo un promedio diario de 95.3 kg considerándola como una fuente principal de grandes cantidades de RS. Además, la sumatoria de la cantidad diaria de los residuos generados en las tres áreas estudiadas permitieron calcular las cantidades de residuos totales generados en la cafetería central en los periodos mencionados anteriormente. Con ello, se obtiene que diariamente se genera un valor significativo de 155.4 kg/día, lo que en cinco días representa 777 kg o bien, en un mes 3,108 kg. En 10 meses se puede estimar que la generación de residuos es de 31.08 toneladas, lo que convierte en este sitio como un gran generador dado que rebasa las 10 toneladas anuales de residuos (NOM-161-SEMARNAT-2011).

Tabla 2. Promedio de generación de RS en áreas de la Cafetería Central de Ciudad Universitaria de la UAG

Zona	Generación (kg) total en los días de muestreos	Generación promedio por día	Generación promedio en cinco días	Generación promedio en un mes	Generación promedio en diez meses
Área de Cocina	667.4 kg/7 días	95.3 kg	476.5 kg	1,906 kg	19,060 kg
Área del Café La Flor de Córdoba	142.8 kg/7 días	20.4 kg	102 kg	408 kg	4,080 kg
Área del Comedor	119.1 kg/3 días	39.7 kg	198.5 kg	794 kg	7,940 kg
Totales	929.3 kg	155.4 kg	777 kg	3,108 kg	31,080 kg

Los resultados obtenidos en este proyecto de investigación pueden ser comparables con estudios similares, donde el propósito es caracterizar y cuantificar los residuos generados en cafeterías de universidades. Tal es el caso de la Cafetería de la Universidad de San Buenaventura Cartagena, Colombia, que fue un estudio del 2017 realizado por Ruiz M. [6], quien encontró que más del 50% de residuos eran tipo orgánico, que fueron cuantificados en dos semanas, en la primera se generó 188.5 kg y en la segunda 411.6 kg, ambas realizadas en tres días de muestreo, y de acuerdo a la cuantificación manual, son más de 2,000 personas que acuden a los servicios de la cafetería. Comparando estos datos con los arrojados del estudio en la CC-CU de la UAG se tiene que la tasa de generación es mayor en esta última institución, a pesar de que la cantidad de usuarios corresponde a la mitad de la universidad colombiana. Este comportamiento puede ser debido al modelo de consumo presente en cada institución y país, aunado a que los muestreos de dos áreas en la cafetería de la UAG se hicieron en siete días a diferencia del trabajo de Ruiz que solo se llevó a cabo en tres días de cada semana.

En México existen reportes de la cuantificación de residuos generados en universidades. En el estudio realizado en 2010 por Turcott y sus colaboradores [7], se reportó una generación en torno a 220 kg/día en el total de las instalaciones de la Universidad Tecnológica de León, institución pública que cuenta con una población de más de 3,000 personas. Mientras en la institución privada de la Universidad Iberoamericana, campus Ciudad de México se generan 3375.3 kg/día de residuos, contando con alrededor de 10,000 estudiantes [8]. Con lo anterior, se establece que la UAG pudiese rebasar la tasa de generación de ambas instituciones, ya que el presente estudio se ha realizado únicamente en el área de la cafetería de la institución.

Es importante mencionar que en la CC-CU de la UAG se han realizado cambios que han resultado positivos a partir de la administración del 2015, por ejemplo, se gestionó la sustitución en su totalidad del unigel por platos y vasos de policarbonato reutilizables, reduciendo la generación de este tipo de residuos que es altamente contaminante. Sin embargo, en la cuantificación realizada se siguió presentando, aunque en bajas cantidades, este tipo de material. Un área de oportunidad muy grande es que en general la institución prescinde de una correcta separación de los RS que facilite identificar aquellos a los que se pueda recuperar el valor económico.

4. Conclusiones

De los resultados obtenidos se comprobó que sólo el área de la CC-CU de la UAG presenta características de un gran generador de residuos, teniendo una generación diaria de más de 150 kg de residuos sólidos. El área de cocina produce cerca de 95.3 kg/día, mientras que el “Café La Flor de Córdoba” genera en torno a

20.4 kg/día y en el área de comedor se estima 39.7 kg/día, presentando toda la zona de la CC-CU de la UAG un promedio diario de 155.4 kg de residuos. Anualmente se generan 31,080 kg que es igual a 31.08 toneladas rebasando las 10 toneladas de residuos categorizando este lugar como un generador de Residuos de Manejo Especial según lo establece la NOM-161-SEMARNAT-2011.

En la UAG se pudiera dar un aprovechamiento a los residuos orgánicos que se generan en gran medida, se pueden enviar a compostaje o para producir fertilizantes orgánicos; disminuyendo así el 50% de residuos que se envían a los sitios de disposición final. Aunque en la UAG existe un convenio con una empresa recolectora de residuos (“Recolectora Industrias de Occidente (RIO)”) que los conduce a su centro de acopio y los vende a empresas recicladoras, existen materiales que se pueden aprovechar en beneficio interno de la institución.

Con el presente estudio se establecen las bases para la elaboración a futuro de un Plan de Manejo de Residuos de Manejo Especial, que es un instrumento a través del cual se busca la minimización y valorización de residuos, y que mediante su implementación la UAG podría favorecerse en actividades con fines sustentables alineados con los objetivos institucionales.

Sería muy valioso buscar alternativas para aprovechar materiales reciclables como es el caso del plástico PET, el Cartón, Papel, Aluminio, Vidrio y Tetrapak que, aunque su generación es mínima hoy en día son materiales altamente valorizables. Con acciones como las señaladas anteriormente, la UAG podría instaurarse dentro del Directorio de Instituciones de Educación Superior del COMPLEXUS (Consortio Mexicano de Programas Ambientales Universitarios para el Desarrollo Sustentable) en el cual figuran las universidades que realizan programas ambientales y fomentan acciones sustentables de beneficio para el ambiente natural y para sus instituciones.

5. Referencias Bibliográficas

1. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2017). Residuos Sólidos Urbanos (RSU). En línea <<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>> Recuperado el 17 de agosto de 2019.
2. Diario Oficial de la Federación (2019). Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011. Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México. pp 14-15.
3. Diario Oficial de la Federación (2018). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Gobernación. Ciudad de México. pp 1-53
4. Diario Oficial de la Federación (2019). Norma Mexicana NMX-AA-22-1985. Protección al Ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Selección y Cuantificación de subproductos. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Ciudad de México. pp 1-7.
5. Diario Oficial de la Federación (2019). Norma Mexicana NMX-AA-015-1985. Protección al Ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Muestreo-Método de cuarteo. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Ciudad de México. pp 1-8.
6. Ruiz M. (2017). Caracterización de Residuos Sólidos en la Cafetería de la Universidad de San Buenaventura Cartagena: Propuesta de Alternativas de Uso con Énfasis Biotecnológico. *Tesis de licenciatura*. Universidad de San Buenaventura Cartagena Facultad de Ciencias de la Salud Programa de Bacteriología. pp 1-115.
7. Turcott D., López K., Reyes M. (2010). Waste Management Program at the Universidad Tecnológica de Leon. *The Open Waste Management Journal*, 3, 174-183. DOI: 10.2174/1875934301003010174

8. Ruiz M. (2012). Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1), 93-97.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa Interinstitucional para el Fortalecimiento de la Investigación y el Posgrado del Pacífico, ya que el presente proyecto se desarrolló dentro del marco del XXIV Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico, del año 2019. Reconocen también a la Universidad Autónoma de Guadalajara por las facilidades otorgadas y la disponibilidad del personal de la Cafetería Central de Ciudad Universitaria para concretar este estudio. José Adalberto y María del Rosario agradecen a la Universidad Autónoma de Guerrero por ofrecer la movilidad para realizar el presente proyecto.

Estudio de la generación de colillas de cigarro en parques públicos de la ciudad de Orizaba, Ver.

¹María Fernanda Serrano Vázquez, ¹Michel de la Cruz Canul Chan, ²Abigail Zamora Hernández y ¹Gloria Inés González López

¹Laboratorio 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. e-mail: glorgonzalez@uv.mx.

²Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana.

Resumen

En México se generan al año 53 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU). Entre todos los residuos que los integran, las colillas de cigarro son uno de los más comunes y el más recolectado en las playas. Las colillas contienen sustancias como hidrocarburos, nicotina, arsénico y metales pesados, que pueden afectar el suelo, agua superficial o subterránea. El objetivo de este trabajo fue realizar un muestreo en tres de los principales parques de la ciudad de Orizaba, ubicada en la zona centro del Estado de Veracruz. Uno se encuentra en el primer cuadro, a una cuadra del zócalo; el siguiente se ubica en el centro-sur y finalmente el tercero está en la zona este. Todos están frente a iglesias grandes y concurridas; los tres tienen al menos una esquina, donde cruzan dos calles transitadas; cuentan con jardineras, bancas y fuentes. El estudio de generación consistió en recolectar todas las colillas durante una semana. Posteriormente, se pesaron y contaron. Los resultados mostraron que el día que se generan más colillas fue el jueves y el menor el domingo. El parque donde se recolectó la mayor cantidad de colillas fue el ubicado en el centro-sur de la ciudad. La selección de las características particulares de los tres sitios de recreo fue con el propósito de analizar los factores que influyen en la generación de colillas, tales como: nivel socioeconómico, población, establecimientos a su alrededor, zona en que se encuentra ubicado y actividades predominantes en cada uno de los parques.

Palabras Clave: *Gestión, muestreo, Residuos peligrosos.*

1. Introducción

Un residuo es un 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. Los residuos en México tienen 3 clasificaciones: residuos peligrosos (RP), los cuales contienen alguna característica CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, biológico, infeccioso). Residuos de manejo especial (RME), que son producidos por grandes generadores de residuos urbanos. Finalmente, están los residuos sólidos urbanos (RSU), que son generados en casas y vía pública, resultados de la eliminación de materiales utilizados en actividades diarias [1].

Cuando ya se ha fumado el cigarrillo y se desecha el filtro, se denomina comúnmente como colilla. Estos residuos contienen compuestos que pueden contaminar el ambiente. Aproximadamente 5.6 trillones de cigarrillos se fuman cada año en todo el mundo. Los desperdicios de cigarrillos constituyen un 30% de la basura total en las costas de los Estados Unidos y en tierra. De hecho, son unos de los desechos más comunes durante la Limpieza Costera Internacional anual [2], [3].

En México se pueden encontrar colillas casi en cualquier lugar, por lo que en las áreas públicas se observan cantidades considerables, que dan lugar a un problema social, económico y ambiental. Actualmente, la mayoría del tabaco se consume en forma de cigarrillos, esto significa que hay un filtro de por medio; a pesar de esto, hoy en día no existen medidas para contrarrestar los daños ocasionados al

ambiente, debido al manejo inadecuado que se les da a las colillas de cigarro. Es evidente la falta de contenedores especiales para las áreas de fumadores, además se genera un impacto visual, por ser uno de los residuos más abundantes y presente en prácticamente todos los asentamientos humanos [4]. Cualquiera que sea su impacto directo en la salud o el beneficio para los fumadores, los filtros de cigarrillos plantean un problema como residuos tóxicos [5], [6].

El objetivo del presente trabajo fue determinar la cantidad de colillas de cigarro que se generaron en tres parques públicos de la ciudad de Orizaba, Ver.

2. Metodología

A continuación, se describen las dos etapas desarrolladas en este trabajo. Para efectuar el estudio de generación de colillas se aplicó la normatividad mexicana existente.

2.1 Selección de la muestra

Con el fin de conocer la cantidad de colillas que se generan en áreas públicas de la ciudad de Orizaba, se recolectaron dichos residuos en tres parques. Los lugares fueron elegidos porque se encontraban en la zona centro y son de los más concurridos. En la Figura 1 se muestra su ubicación física. Sus nombres son:

- De La Concordia
- López
- Del Palacio de Hierro

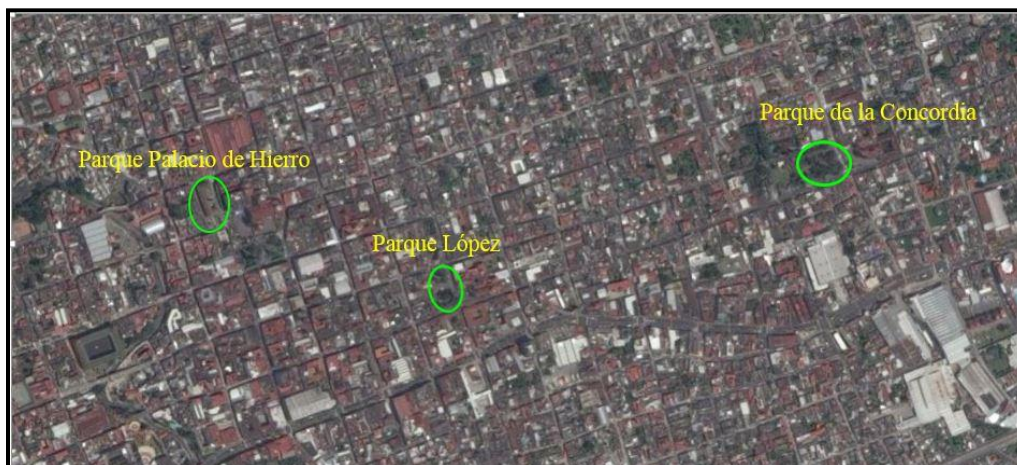


Figura 1. Ubicación geográfica de los tres parques estudiados

Los parques seleccionados se localizan en la zona centro de la ciudad, como se muestra en la Figura 1. El primero de derecha a izquierda en la figura, el parque de la Concordia, el segundo es el López, ubicado en el centro-sur y finalmente el tercero está en la zona oeste, el parque Palacio de Hierro, se encuentra a una cuadra del zócalo de Orizaba. Todos están frente a iglesias grandes y concurridas; los tres tienen al menos una esquina, donde cruzan dos calles transitadas; cuentan con jardineras, bancas y fuentes. Sin embargo, solo el del Palacio de Hierro no tiene área de juegos o de ejercicio. Todos disponen de contenedores para residuos sólidos.

La selección de las características particulares fue con el propósito de analizar los factores que influyen en la generación de colillas, tales como: nivel socioeconómico, población, establecimientos a su alrededor, zona en que se encuentra ubicado y actividades predominantes en cada uno de los parques, que pudiesen hacer variar la cantidad por área. El número total de parques públicos en la ciudad es de 24, la muestra seleccionada corresponde al 12.5% del total.

2.2 Muestreo

Este estudio se realizó con base en la Norma Mexicana NMX-AA-61-1985, la cual especifica el método para determinar la generación de residuos sólidos municipales, hoy RSU, a partir de un muestreo estadístico aleatorio. En el caso de los parques el muestreo se efectuó solo por siete días y no ocho como marca la Norma, debido a que el estudio se hizo en un espacio público, donde no se tienen colillas rezagadas, ya que el servicio de limpia pública lo barre tres veces al día. Se habló previamente con el personal de limpia pública municipal, para pedirles que no retiraran las colillas.

Los muestreos se efectuaron diariamente durante una semana por las tardes, entre las 16 y 19 horas. La recolección se iniciaba en el parque de la Concordia (zona este), posteriormente el López y al final el del Palacio de Hierro. Las colillas se tomaron directamente del suelo y jardineras de cada uno de los tres parques, abarcando toda el área en cada caso. Durante el muestreo se usaron guantes de látex desechables y bolsas plásticas con cierre, que permitieron mantener cerrada e identificada la muestra (Figura 2). Los datos anotados en cada bolsa fueron: la procedencia, fecha y hora, así como las condiciones climatológicas imperantes, con el fin de correlacionarlos con los resultados. Posteriormente, se hizo el conteo del día y se registró en un concentrado. Los datos se agruparon en tablas y se elaboraron gráficas.



Figura 2. Material utilizado durante el muestreo de colillas

3. Resultados y discusión

En la Tabla 1 se pueden observar los resultados del conteo de las muestras tomadas en los tres parques de la ciudad de Orizaba, Ver., durante la semana del 23 al 29 de enero.

Tabla 1. Resultados del conteo de colillas

Días	De La Concordia	López	Del Palacio de Hierro
Lunes	26	35	13
Martes	16	23	9
Miércoles	22	59	30
Jueves	24	69	42
Viernes	18	22	21
Sábado	9	16	11
Domingo	5	18	7
Total	120	242	133

Como se puede ver, el parque López fue donde se cuantificó la mayor cantidad de colillas. Con el fin de comparar ésta con el área, se midieron los parques mediante el programa Google Earth Pro y posteriormente se obtuvo el área de cada uno. En la Tabla 2 se relacionan el área, infraestructura con que cuenta cada parque y el total de colillas colectadas.

Tabla 2. Características de los tres parques estudiados

Nombre del parque	Área (m ²)	Infraestructura	Colillas/semana
De La Concordia	4,196	Bancas y fuente, juegos infantiles, kiosco, aparatos de ejercicio	120
López	3,326	Bancas y fuentes, juegos infantiles	242
Del Palacio de Hierro	1,157	Bancas y fuente	133

Fue evidente que no fue en el parque con mayor área, en este caso el De La Concordia, donde se tuvo la mayor generación, sino lo contrario. En dicho parque fue donde se recolectó el menor número de colillas, tan solo 120 en la semana. También, se puede observar que el parque más grande cuenta con infraestructura variada para los visitantes. Todos cuentan con bancas y jardineras, sitios donde se concentraron las colillas colectadas.

En la Figura 3 se muestra la distribución de la generación de las colillas por día, en cada uno de los parques. Se logra apreciar que la mayor generación de colillas se encuentra en el y que, en los tres sitios, la menor generación se tuvo el fin de semana, en dos fue el domingo. Asimismo, el pico de generación se presentó el jueves, excepto en el parque De la Concordia, donde se registró el lunes. Cabe hacer notar que fue en este último donde se tuvo la menor generación de colillas.

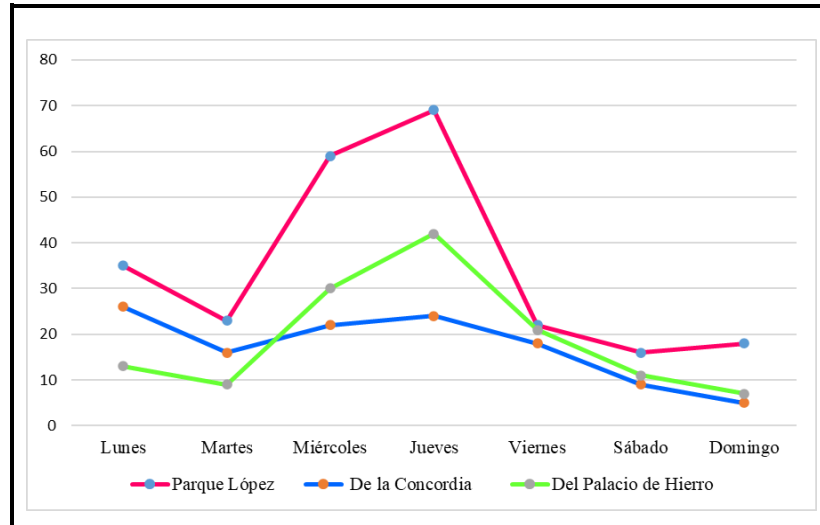


Figura 3. Generación diaria de colillas en los tres parques

Con base en las cifras de la Tabla 1 se elaboraron las Figuras 4 y 5, donde se muestran los porcentajes de generación de colillas de cigarro, que corresponden a cada día de la semana de muestreo en los tres parques estudiados. En la Figura 4 se muestra el porcentaje diario de colillas recolectadas en una semana en el parque López. A pesar de no ser el de mayor área, resultó ser el del conteo más alto. El miércoles y jueves se tiraron más de la mitad del total de las colillas colectadas (53%).

Con base en los resultados obtenidos, se considera que uno de los factores que influyó en este resultado fue que el sitio sólo cuenta con una pequeña área de juegos infantiles, y que el resto del parque tiene bancas distribuidas al lado de las jardineras, donde se concentran los fumadores. La menor oferta de áreas de recreo y aparatos para ejercicio, es posible que influya en el tipo de población que acude, entre la que se encuentran los consumidores de tabaco. Porque en este parque se obtuvo el doble de las colillas que en los otros dos sitios estudiados.

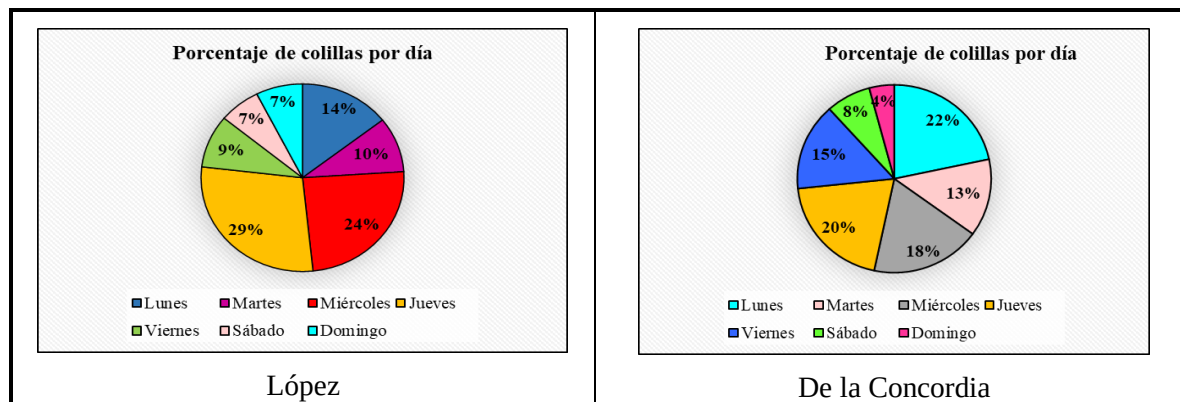


Figura 4. Porcentaje diario de colillas en dos parques de la ciudad

En el parque de la Concordia (Figura 4), se tuvo la menor generación de colillas. Se infiere que una de las razones puede ser su ubicación y tipo de parque, pues una tercera parte de su área está ocupada por juegos infantiles y aparatos de ejercicio. Lo anterior propicia que sea más concurrido por familias, niños y personas deportistas. Aquí el día que se encontró mayor número de colillas fue el lunes y en segundo lugar el jueves, como en los otros dos parques. La suma de ambos días supera el 50% del total colectado.

A pesar de ser el parque más céntrico y transitado, el del Palacio de Hierro (Figura 5) no resultó ser el de mayor generación de colillas. Esto puede asociarse a sus características, mencionadas en la Tabla 2. Un punto importante es que es el más pequeño, lo que propicia menos sitios a donde tirar colillas y en teoría, menor aforo de visitantes. No obstante, los resultados son consistentes con los del parque López, donde entre miércoles y jueves se tuvo el 54% del total de las colillas recolectadas.

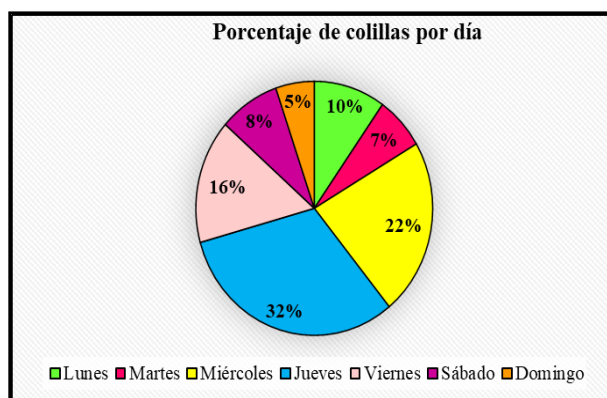


Figura 5. Porcentaje en el parque del Palacio de Hierro

En este punto se puede notar que a pesar de tener en común los días de mayor generación de colillas (miércoles y jueves), el parque López y el del Palacio de Hierro, la cantidad en el primero casi duplicó al segundo. Aquí se puede inferir que influyó tanto el área, como las condiciones del sitio, entre las que se encuentra la vegetación. El parque López cuenta con árboles altos que ofrecen sombra, lo que no sucede

en el del Palacio de Hierro. Esto se puede apreciar en la Figura 5. Lo anterior es posible que permita que los fumadores encuentren más cómodo el López.

Cabe mencionar que en los tres parques, los días del fin de semana fueron los que menos número de colillas registraron; en dos parques el domingo y en el López el sábado. Tomando en cuenta estos resultados, contrario a lo que se podría suponer, el fin de semana resultó con menor generación de colillas de cigarro. En las Figuras 6 y 7 se pueden observar los parques muestreados.



Figura 5. Vista de dos parques muestreados en Orizaba, Ver.

La foto izquierda de la Figura 5 es una vista del parque más céntrico, ya que se localiza a una cuadra del zócalo. Fue el que tuvo menor superficie de los tres elegidos, pero el segundo en cantidad de colillas recolectadas. Aunque se puede mencionar que el número de colillas fue casi la mitad que en el López, donde se tuvo la mayor generación. Dicho parque está a un costado de la calle que parte a la ciudad en dos y a unos metros del mercado central, por lo que es una zona muy transitada. Aunque el lugar recibe constantemente visitantes, es gente que acude al centro y al mercado de compras. Es posible que los fumadores no se sientan cómodos con el ajetreo y tránsito constante en ese parque, lo que propició un número menor de colillas.

La foto de la derecha en la Figura 5 es del parque López, el cual está rodeado por dos avenidas y una calle, también es un lugar de tránsito peatonal intenso. Ambos parques cuentan con bancas y jardineras, como se mencionó anteriormente.



Figura 6. Vista de dos áreas del parque De la Concordia en Orizaba, Ver.

Las dos fotos de la Figura 6 son del tercer parque muestreado. Se comentó que es el que cuenta con el área más grande de los sitios estudiados, superior a los 4 mil metros cuadrados. Tiene una superficie amplia destinada a zona de juegos infantiles (foto de la derecha). Así mismo, un área importante tiene aparatos para hacer ejercicios físicos (foto de la izquierda). En esta foto también se aprecia al fondo, en el extremo derecho, parte del quiosco. En este parque se puede apreciar la presencia de contenedores para residuos sólidos, característica que se destacó en la selección de la muestra. Además de las áreas importantes para juegos y ejercicios con que cuenta, este parque está ubicado en una zona de estrato socioeconómico medio-alto. También es notoria la presencia de establecimientos comerciales a su alrededor y un importante museo. Inferimos que todos los factores anteriormente mencionados influyeron en la baja generación de colillas de cigarro en su interior.

4. Conclusiones

Mediante el estudio de generación realizado se comprobó que el día de mayor generación de colillas en dos de los parques fue el jueves. En el tercero el lunes, es decir entre semana. Inicialmente se partió de la hipótesis que sería el domingo, día en que los parques registran la mayor afluencia de visitantes.

En dos parques más de la mitad de las colillas de toda la semana se generaron el miércoles y jueves.

La infraestructura existente en los parques influyó en la cantidad de colillas encontradas. El que dispone de más zonas diversificadas fue el que tuvo menor generación.

Las condiciones de los parques actuaron a favor de la presencia de fumadores. El que cuenta con mayor cantidad de vegetación y poca área recreativa, fue donde se recolectó el mayor número de colillas durante el muestreo.

A pesar de que existen contenedores en los sitios de recreo estudiados, muchos fumadores no colocan ahí los residuos de cigarro que generan.

Referencias Bibliográficas

- [1] Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos (LGPGIR) (2003). Diario Oficial de la Federación del 8 de octubre de 2003. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión en la LXIII Legislatura.
- [2] Slaughter E., Gersberg M.R., Watanabe K., Rudolph J., Stransky C. and Novotny E.T. (2011). Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish. San Diego State University Publ. 20(1). Recuperado de: http://tobaccocontrol.bmj.com/content/20/Suppl_1/i2
- [3] Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2019). Colillas, enemigas del ambiente. Gobierno de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/colillas-enemigas-del-ambiente>
- [4] Asociación profesional de playas y medio ambiente (APYMA) (2016). Informe sobre los residuos de filtros de cigarrillos. Carta de servicios. Recuperado de: http://www.apyma.com/images/Informes/Informe_colillas.pdf
- [5] Herrera-Pamplona K, Cogollo-Milanés Z, Alvis-Estrada LR. (2019). Mortalidad por cáncer asociado al consumo de cigarrillo en el Caribe colombiano, 2009-2013. Rev. Fac. Nac. Salud Pública, 37(2), 116-124.
- [6] Martínez-López E. y Díaz-Valencia P. A. (2015). Respirar aire contaminado es tan nocivo como fumar cigarrillo. Rev. Salud Pública 17 (3), 365-378.

Generación de Residuos Peligrosos en la Cabecera Municipal Tepetzintla Veracruz.

¹Dra. Nadia Angélica Cruz Vázquez, ¹MCA. Ana Lizette Sánchez Meza, ¹Ing. Sandra Yissel Mata Tiburcio, Ing. Erika Fuentes Vergara²

¹Facultad de Ciencias Químicas, Región Poza Rica – Tuxpan, Universidad Veracruzana, Prologación Av. Venustiano Carranza s/n Col. Revolución, C.P. 93390, Poza Rica de Hidalgo, Veracruz. Teléfono: 7821152908. nadacruz@uv.mx

²Evaluación, Asesoría y Servicios Integrales A.C

Resumen

En este documento se describe un estudio realizado en el municipio de Tepetzintla, ubicado en la Huasteca baja Veracruzana. Para lo anterior se realizaron recorridos de campo, aplicación de encuestas y entrevistas a los encargados de los sitios identificados como generadores de residuos Peligrosos, con la finalidad de descubrir si la población muestra contaba con los conocimientos teóricos y prácticos para el manejo integral de residuos de acuerdo a lo estipulado en la Normatividad vigente. Así también, se realizó un censo de los establecimientos que, resultado de su actividad, generan residuos peligrosos. Los resultados obtenidos muestran que más del 50% del personal entrevistado en los establecimientos, desconoce que están generando residuos peligrosos y por lo tanto, tampoco se aplican las medidas de manejo adecuadas. Asimismo, se muestran los resultados obtenidos referentes a la generación y manejo actual de los residuos peligrosos en la cabecera municipal, conformándose con esta información la línea base de generación. Con esto se crean bases técnicas para las futuras toma de decisiones en la gestión de los residuos peligrosos, así como para la prevención de la contaminación causada por los mismos.

Palabras Clave: *Residuos Peligrosos, Generador, Manejo actual, línea base*

45

Introducción

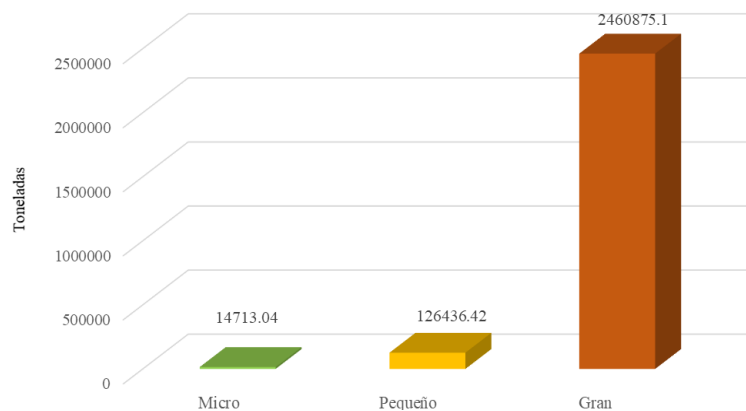
Los residuos peligrosos (RP) son de atención prioritaria a nivel internacional y nacional, debido a las características que intrínsecamente tiene cada uno de ellos y las afectaciones que estas pueden hacer al ambiente; es por eso que la Federación ha establecido en la Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) y su reglamento, los lineamientos para su correcta gestión, entendiendo como Gestión Integral de Residuos al conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región [1].

La LGPGIR define en su artículo 5 fracción IX a un generador como la persona física o moral que produce residuos, a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo y los clasifica con base en sus cantidades de generación anual:

Microgenerador para aquellos que generen una cantidad de hasta cuatrocientos kilogramos de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida, pequeño generador para cantidades entre 400 kilogramos y 10 toneladas y; Gran generador para más de 10 toneladas [1].

Debido a las obligaciones que adquieren los grandes generadores al momento de registrarse (obligaciones comunes para todas las categorías de generadores de RP), son por lo general los mayormente vigilados por la autoridad ambiental, así como por la población. No obstante, es igual de importante y prioritario la correcta gestión de los RP provenientes de los pequeños y microgeneradores, si bien los volúmenes

generados de forma individual pudieran representar un impacto mínimo al ambiente, se debe considerar la afectación por el impacto acumulativo que se presenta al sumar las cantidades de todos estos generadores (Ver Figura 1).



Fuente: Elaboración propia (SEMARNAT 2018)

Figura 1. Generación de RP acumulada 2004 – 2018 por tipo de generador

Al momento de sumar todos los RP de los micro y pequeños generadores podemos observar (Tabla 1) que el resultado es una cantidad nada despreciable de 141,149.46 ton acumuladas, del año 2004 al 2018 [2] que conforman el 5% de los RP generados (ver figura 2), siendo posible que esta cantidad sea mucho mayor, considerando que existe un gran número de este tipo de generadores que no se encuentran registrados, derivándose esto en la inexistencia del reporte de sus residuos, así como de la gestión adecuada de los mismos.

Tabla 1. Generación conjugada de Micro y Pequeños generadores

	Micro	Pequeño	Gran
Generación acumulada 2004-2018 en toneladas	14,713.04	126,436.42	246,0875.1
	14,1149.46 ton		

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, Semarnat 2018

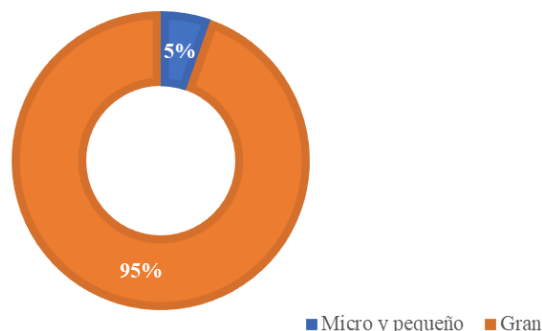


Figura 2. Porcentaje de Generación de RP acumulada 2004 – 2018 por tipo de generador

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, SEMARNAT 2018

La regulación y seguimiento de los residuos peligrosos está a cargo de la Federación; sin embargo, los municipios tienen la facultad de participar en el control de los mismos cuando estos son generados o manejados por microgeneradores, así como imponer las sanciones que procedan de acuerdo con la normatividad aplicable local y lo que establezcan los convenios que se suscriban con los gobiernos de las entidades federativas respectivas, de conformidad con lo establecido en la LGPGIR [1]. Derivado de esto, los municipios pueden establecer convenios con la Federación a fin de promover el correcto manejo de los RP generados en sus municipios.

Tepetzintla, Veracruz

El municipio de Tepetzintla, Ver., se encuentra localizado geográficamente al norte de la entidad, dentro de la parte montañosa de la Huasteca Baja. El municipio de Tepetzintla, cabecera del Municipio del mismo nombre se encuentra a 21°10' de latitud norte y 97°51' de longitud oeste, a una altitud de 260 metros sobre el nivel del mar. Colinda al norte con los municipios de Chontla, Cerro Azul y Tantoco, al este con Álamo Temapache, al sur con Chicontepec y al oeste con Ixcatepec [3] como se muestra en la Figura 3. Las actividades primordiales del municipio son: agricultura, Ganadería y comercio. La cabera municipal lleva el mismo nombre y tiene una población total de 5,166 habitantes [4].

Desde hace más de 20 años, se ha acrecentado el problema de escasez de agua en la región, causando daños en la agricultura y ganadería, propiciando la migración de la población.

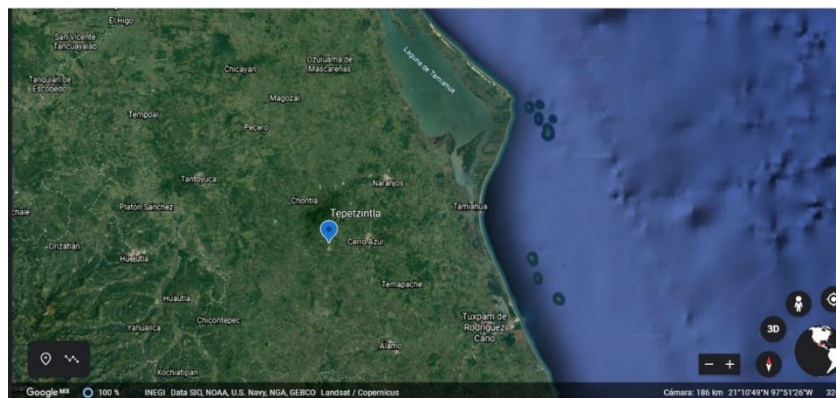


Figura 3. Ubicación de Municipio de Tepetzintla
Fuente: Google Earth/INEGI 2020

2. Metodología

2.1 Determinación de la muestra de los establecimientos generadores de RP

Inicialmente se recurrió al personal del Ayuntamiento Municipal a fin de solicitar el inventario o registro de la cantidad y tipo de establecimientos comerciales que se encuentran en la cabecera para seleccionar las actividades comerciales o productivas que generan RP's; sin embargo, no fue posible obtener información al respecto. La localidad de Tepetzintla, Veracruz no cuenta con un departamento de Ecología o Medio Ambiente que facilite la información.

Se determinó realizar una visita de campo por la cabecera municipal, con el objetivo de realizar el censo de los establecimientos que generan RP. Se consideraron solamente aquellos que por su actividad económica cumpliera con lo establecido en el punto 6.4.2 “Manifestación basada en el conocimiento científico o la evidencia empírica sobre los materiales y procesos empleados en la generación del residuo” de la NOM-052-SEMARNAT-2005 [5].

2.2 Recopilación de información sobre la generación de RP

Para la obtención de la información de generación de RP se diseñaron dos instrumentos. El primero de ellos, una encuesta que incluía temas sobre el tipo de actividad que se desarrolla, la generación de residuos en general producidos durante el desarrollo de sus actividades preponderante, y el conocimiento de las características de peligrosidad de los mismos. El segundo instrumento constó de una entrevista guiada dirigida al mismo personal mencionado, con la finalidad de obtener información sobre el manejo actual de los residuos que se generan en su instalación. Ambos instrumentos se aplicaron a los responsables de la administración y/u operación de los establecimientos censados.

2.3 Visitas de campo

Se realizaron visitas a cada uno de los establecimientos censados, realizando la observación directa del manejo actual de los residuos generados, la captura de evidencia fotográfica con la finalidad de realizar el análisis posterior sobre el cumplimiento normativo, considerando las Normas NOM-052-SEMARNAT-2005 [5] y NOM-087-ECOL-SSA1-2002 [6].

3. Resultados

3.1 Censo

Derivado del recorrido por toda la zona poblada de la cabecera municipal de Tepetzintla, se obtuvo un censo de 21 establecimientos, que se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. *Inventario de establecimientos generadores de RP en la cabecera municipal de Tepetzintla, Veracruz*

Tipo de Establecimiento	Cantidad	Tipo de RP (CRETIB)*
Consultorios médicos	6	Biológico infeccioso
Centros médicos	1	Biológico infeccioso
Laboratorios clínicos	2	Biológico infeccioso
Talleres mecánicos (automóviles)	5	Inflamable
Talleres de motos	2	Inflamable
Taller de hojalatería y pintura	2	Inflamable, Tóxico
Vulcanizadoras	3	Inflamable

*Fuente: NOM-052-SEMARNAT-2005

3.2 Encuestas, entrevistas y recorridos

Del análisis de ambos instrumentos aplicados se identificó que los RP generados en los establecimientos censado, se encuentran dentro de dos principales grupos:

Residuos Inflamables, generalmente compuestos por residuos líquidos de aceites lubricantes gastados y residuos sólidos de diversos tipos impregnados con estos (cartones impregnados, fierros o chatarra, pintura, solventes, filtros usados y envases o recipientes)

Residuos Peligrosos Biológicos Infecciosos (RPBI), como lo son las agujas, gasas, algodones y guantes usados. [6]

En la Figura 4 se muestra que el 62% de los RP generados son residuos inflamables y el 38% restante corresponde a RPBI.

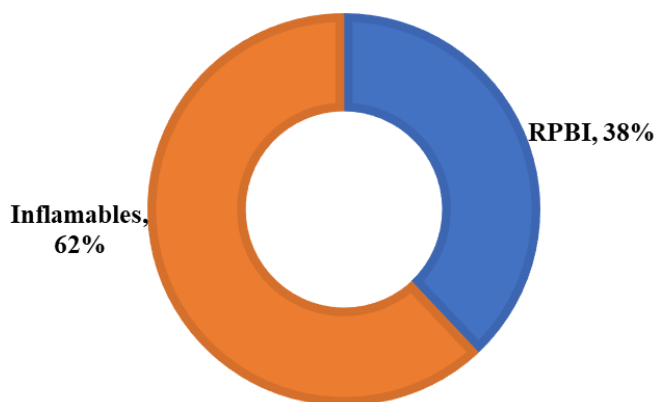


Figura 4. Porcentaje de RP generados en los establecimientos de la cabecera municipal de Tepetzintla

Se identificó que en el 48% de los establecimientos encuestados (Figura 5), el personal encargado dice saber que los residuos mencionados anteriormente están categorizados como peligrosos.

Sin embargo, desconocen sus obligaciones como generadores, omitiendo el manejo adecuado de este tipo de residuos, como lo es la identificación y clasificación de los mismos, evitar la mezcla de aquéllos que sean incompatibles, el envasado de los residuos peligrosos generados de acuerdo con su estado físico, el etiquetado de los contenedores correspondientes, contar con un sitio de almacenamiento temporal que contemple las características citadas en el artículo 82 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral (R-LGPGIR) [7] de los residuos, transportar los residuos peligrosos a través de empresas autorizadas por la SEMARNAT, así como garantizar la aplicación de actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social; lo cual fue constatado durante las visitas de campo realizadas (Figura 6).

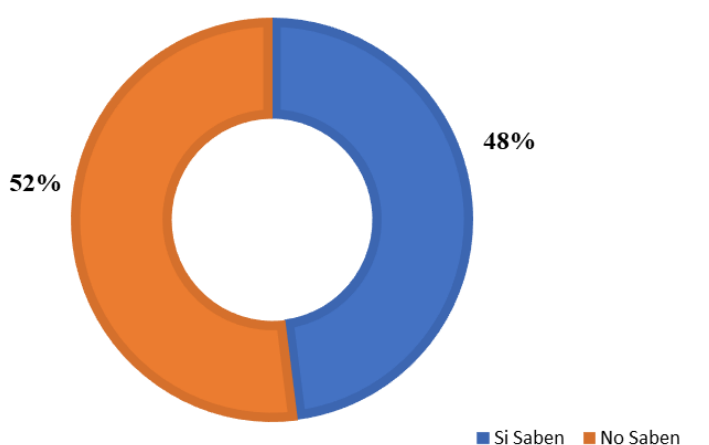


Figura 5. Porcentaje de establecimientos con conocimiento de su generación de RP

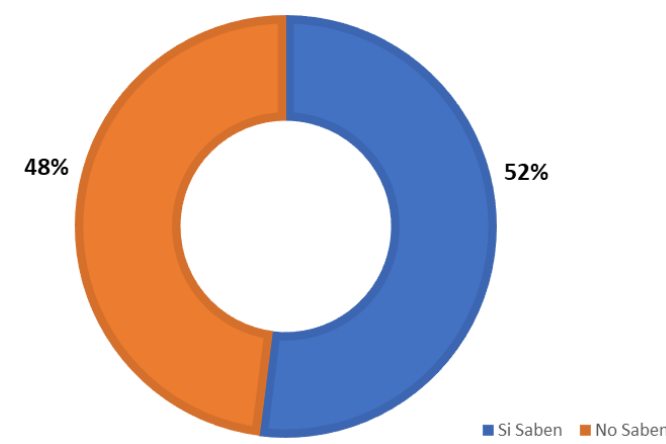


Figura 6. Porcentaje de establecimientos con conocimiento del manejo adecuado de los RP

También se identificó que, más del 60% del total del censo (Figura 7), realiza la separación de residuos, principalmente entre residuos sólidos urbanos (RSU) y líquidos (aceites gastados), no obstante, la separación de los aceites gastados se realiza con fines económicos, según lo expresado en los resultados de los instrumentos aplicados y confirmado durante los recorridos a las instalaciones evaluadas.

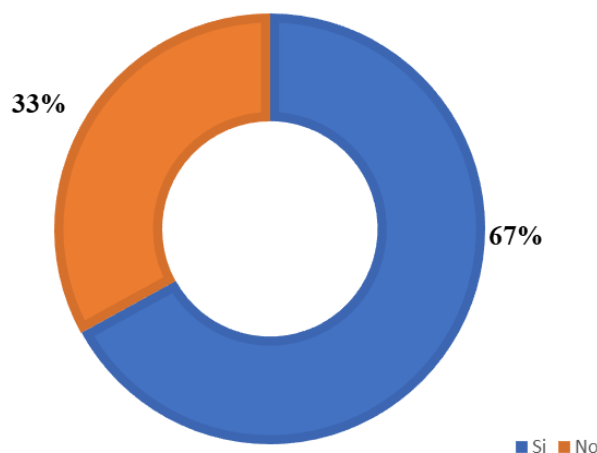


Figura 7. Porcentaje de establecimientos con separación de los RP de los RSU

Con respecto a los laboratorios clínicos, centros médicos y consultorios médicos, en las encuestas se obtuvo que, se realiza la separación de los RPBI, sin embargo durante los recorridos se observó que no se lleva a cabo en conformidad con la NOM-087-ECOL-SSA1-2002, Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo.

Con relación a la etapa de almacenamiento de RP, se registró que en todos los casos se desarrolla esta actividad sin contemplar las condiciones establecidas en el R-LGPGIR.

Con base la norma NOM-087-ECOL-SSA1-2002, Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos – Clasificación, los establecimientos estudiados se cuentan en el Nivel I de generación, teniendo 30 días como máximo para el almacenamiento en el sitio; sin embargo, todos ellos sobre pasan este límite. En el caso de los RP- CRETl, no se encontró incumplimiento a los tiempos establecidos en el artículo 84 del R-LGPGIR, que establece un tiempo máximo de almacenamiento de 6 meses (Figura 8).

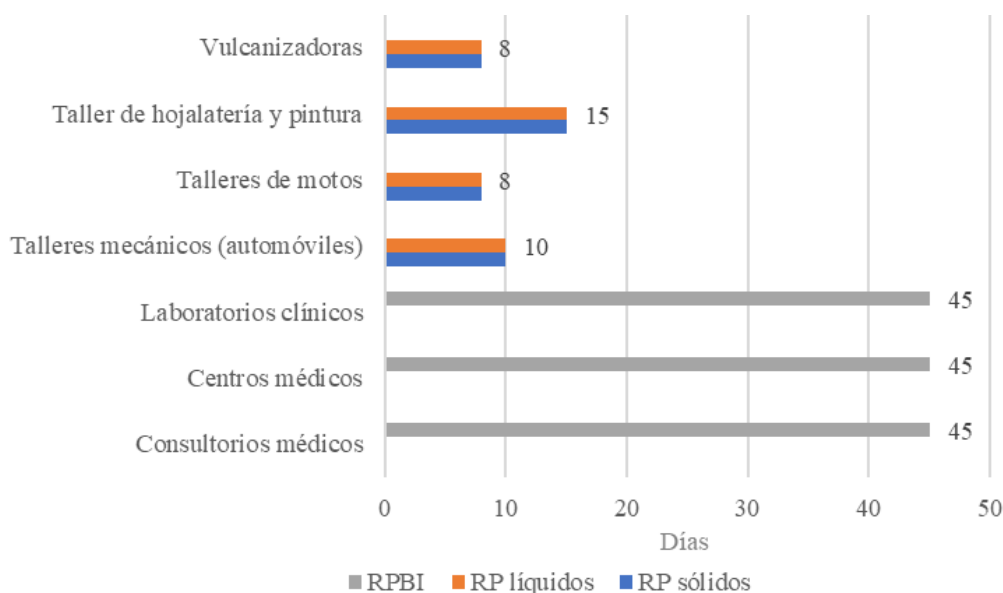


Figura 8. Tiempo de almacenamiento de RP

Hablando del destino final de los RP, resulta importante mencionar que se identificó que más del 70% son depositados con los RSU y por lo tanto vertidos en el basurero municipal, contraviniendo con la legislación y normatividad vigente en el rubro. El 24% de los RP, que corresponde a los aceites lubricantes gastados, son destinados a la venta, pudiendo considerar que están siendo “valorizados”.

Sin embargo, al momento de esta acción no se genera ningún manifiesto de entrega – transporte y recepción de RP señalado como obligatorio en la LGPGIR, y que permite la trazabilidad de los mismos; avalando que los residuos son transportados disminuyendo sus riesgos y dispuestos o tratados en sitios autorizados por la SEMARNAT. Al no contar con dicho documento, no se garantiza que el residuo será eliminado, transformado o estabilizado en procesos controlados que eviten posibles daños ambientales causados directa o indirectamente por los RP.

Los resultados muestran que el 4% de los RP generados, son enterrados en los terrenos de los establecimientos, refiriéndose estos a los generados en el Centro de Salud y algunos de los consultorios médicos, lo cual también incumple con lo establecido en la NOM-087-ECOL-SSA1-2002 (Figura 9).

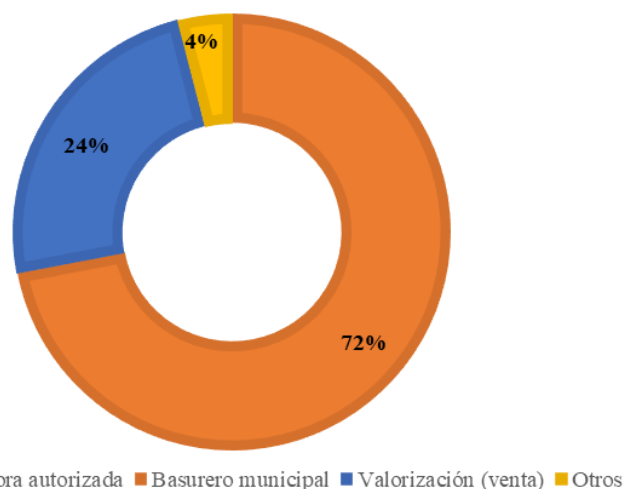


Figura 9. Destino final de RP generados en la cabecera municipal de Tepetzintla, Ver.

3.3 Línea Base

Con base a lo anterior, fue posible la determinación de la línea base en materia del manejo actual de los RP en la cabecera del municipal de Tepetzintla, Ver, que se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Línea Base de RP de la Cabecera Municipal de Tepetzintla, Ver.

Tipo de Generador	Cantidad de generadores en el área de estudio	Cantidad de residuos generados (ton/anuales)	Norma de referencia
Generador de RPBI Nivel I	9	0.48	NOM-087-ECOL-SSA1-2002
Micro generador de RP	7	1.356	NOM-052-SEMARNAT-2005
Pequeño Generador de RP	5	3.240	NOM-052-SEMARNAT-2005
<i>Total</i>	<i>21</i>	<i>5.240</i>	

4. Conclusiones

Lo que inicialmente llama la atención de este estudio, es la usencia de un departamento en el gobierno municipal de Tepetzintla, Ver. ligado con la atención del tema ambiental; siendo importante la participación de este y su compromiso con el establecimiento de lineamientos y actores que dicten y encaminen la política ambiental del municipio en materia de la regulación ambiental de los RP dentro del territorio de su jurisdicción, como lo señala la LGPGIR en su artículo 10, fracción VIII en dónde se le da la atribución a este orden de gobierno de participar en el control de los residuos peligrosos generados o manejados por microgeneradores, así como imponer las sanciones que procedan, de acuerdo con la normatividad aplicable y lo que establezcan los convenios que se suscriban con los gobiernos de las entidades federativas respectivas, de conformidad con lo establecido en la LGPGIR [1].

Es también prioritaria la aplicación de otro de los instrumentos de la política ambiental, el Ordenamiento Ecológico, que, de diseñarse un Programa para la administración inteligente del territorio, se delimitarían las zonas más apropiadas para el establecimiento de actividades generadoras de RP, evitándose daños a la población y ambiente.

Se necesita elaborar el Plan Municipal de Desarrollo encaminado al cumplimiento de los objetivos de la Agenda 2030, garantizando así la correcta administración de los recursos naturales, la gestión de residuos peligrosos y no peligrosos, así como salud y el bienestar social.

Al no contar el Municipio de Tepetzintla, Ver., con los entes gubernamentales mencionados, se encuentra en desventaja para la detección de problemáticas ambientales y para su atención, por lo que es prioridad que asuman su responsabilidad en la materia y la transmitan a los habitantes, generando con esto a mediano y largo plazo conciencia y cambios en pro del ambiente.

Los resultados obtenidos hacen evidente el desconocimiento que se tiene en el área de estudio en materia de residuos peligrosos, que si bien, en algunos de los casos se tienen una “buena intención” del manejo correcto de los mismos, este se realiza sólo con el conocimiento empírico y sin ninguna capacitación o adiestramiento, lo cual se conlleva a desarrollar prácticas como el entierro de RPBI en sitios clandestinos o la disposición de RP en el basurero municipal, siendo estas prácticas prohibidas en la legislación y normatividad aplicable en la materia.

La cantidad de RP generados en los establecimientos estudiados, se encuentra dentro de lo considerado como microgeneración. Esto no debe ser motivo de excusar responsabilidades tanto de los generadores

como del gobierno municipal, dado que es posible que, al interactuar, residuos peligrosos con problemas propias de la región, produzcan impactos ambientales sinérgicos o acumulativos que los agraven.

Siendo optimistas, se considera la baja generación actual de RP como una fortaleza:

La razón es que el problema recién empieza.

Es sencillo el control, la regulación de los establecimientos existentes y futuros, y la prevención de múltiples afectaciones a la salud y al ambiente.

Las condiciones sociales, económicas, culturales, geográficas permiten proponer modelos específicos de educación ambiental.

Se evita o disminuye la atención y corrección de daños.

Sin embargo, es necesario iniciar lo antes posible acciones que conlleven a la prevención y/o disminución de la generación de RP en el municipio, así como la aplicación de políticas públicas que fomenten la educación ambiental y gestión – manejo de todo tipo de residuos.

Referencias Bibliográficas

[1] Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Diario Oficial de la Federación, México D.F, 8 de Octubre 2003

[2] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2020. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) Residuos Peligrosos. Recuperado de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap7.html#tema3>

[3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Censo de población y vivienda 2010. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?ag=30167>

[4] Secretaría de Desarrollo Social. 2018. Sistema de Apoyo para la Planeación del PDZP. Recuperado de <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=301670001>

[5] NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos, Diario Oficial de la Federación, México D.F, 23 de Junio 2006

[6] NOM-087-ECOL-SSA1-2002, Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo, Diario Oficial de la Federación, México D.F, 22 de Enero 2003.

[7] Reglamento de Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Diario Oficial de la Federación, México D.F, 31 de Octubre 2014

El manejo de los residuos sólidos urbanos y las actividades del sector informal que contribuyen a su recuperación. Caso de estudio: Subcuenca Río Tecolutla.

¹Alejandra Vallejo Marín, ¹María Yolanda Leonor Ordaz Guillén.

¹ Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Calle 30 de junio de 1520 s/n, Col. La Laguna Ticomán, C.P. 07340, Alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México, 555 729 60 00, ext. 52734, mordazg@ipn.mx

Resumen

El objetivo de la presente investigación es describir el manejo de Residuos Sólidos Urbanos, así como las actividades del sector informal que contribuyen a la recuperación de éstos, en la Subcuenca Río Tecolutla, formada por los municipios de Tecolutla, Papantla y Gutiérrez Zamora, en el Estado de Veracruz, México. Se utilizó una metodología mixta, la cual consistió en cinco etapas: investigación documental, diseño de cuestionarios, trabajo de campo, análisis estadístico de datos y análisis de resultados. A pesar de que Veracruz es una de las principales entidades generadoras de Residuos Sólidos Urbanos a nivel nacional, se detectó que en esta Subcuenca no se cuenta con una separación primaria de ellos, lo cual resulta en la disposición final de los mismos en los Sitios No Controlados ubicados en la zona, los cuales no cuentan con las especificaciones de protección ambiental necesarias, ya que no existe un manejo apropiado de lixiviados o un control de olores. En estos Sitios No Controlados trabajan pepenadores y pepenadoras que recolectan los residuos susceptibles de aprovechamiento o valorización, los residuos mayormente recolectados en la Subcuenca Río Tecolutla son el PET y el cartón. A pesar del impacto positivo que el trabajo de estas personas tiene al reducir significativamente el volumen de los residuos en estos sitios de disposición, sus condiciones laborales son riesgosas y poco favorables.

54

Palabras Clave: *Lixiviados, Pepena, Reciclaje, Sitios No Controlados, Valorización.*

1. Introducción

En los últimos años, la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en México ha ido en aumento debido al crecimiento de la población, la industrialización y el cambio en hábitos de consumo, sin embargo, no se ha logrado dar una respuesta adecuada a la necesidad emergente en materia de disposición de RSU.

De acuerdo con [1], en el país predomina el manejo básico de RSU que consiste en recolectar y disponer de los mismos en Rellenos Sanitarios (RS) o Sitios No Controlados (SNC) por lo que 79 % de la generación total se dispone de esa forma, lo cual indica un rezago en el tema de la valorización y aprovechamiento de los RSU.

El aprovechamiento y valorización de RSU es una de las alternativas que se ha desarrollado a nivel mundial, pero en el país únicamente un bajo porcentaje es sometido principalmente a procesos de reciclaje o compostaje (en el caso de la fracción orgánica). Es importante mencionar que el reciclaje en México ha aumentado en los últimos años, no obstante, se estima que tan solo 4.8 % de los RSU generados son reciclados, cifra que podría aumentar al 10% si todos los RSU susceptibles a reciclaje fueran recuperados antes de llegar a los sitios de disposición final [2].

De acuerdo con [1], en el país la composición de los RSU corresponde 52 % a residuos orgánicos (restos de comida, jardinería, etc.), 13 % cartón, papel y similares, 12.1 % otro tipo de basura, 10.9 % plásticos, 1.7 % aluminio, 1.1 % metales ferrosos y 0.6 % otros metales.

Como se puede apreciar en los datos anteriores alrededor de 26 % de los RSU son susceptibles a valorización o aprovechamiento, sin embargo, no en todos los Estados se cuenta con un plan de recolección por subproductos o planes de manejo a nivel estatal o municipal.

Los SNC, son la forma más utilizada para disponer los residuos a nivel nacional, a pesar de esto su operación, aunque económica y sencilla, resulta inadecuada. La mayor parte de estos son clandestinos y debido a su diversidad e irregularidad, no se tiene registro de la mayor parte de ellos [2].

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [3], señala que en el país existen 2203 sitios de disposición final, de los cuales únicamente 8 % corresponden a RS, mientras que el resto (92 %) son SNC.

Una actividad poco valorada socialmente, pero que contribuye a la recuperación de residuos valorizables en los RS o SNC es la pepena. Los pepenadores son personas que recolectan materiales que pueden ser reintegrados a procesos productivos, esta actividad tiene grandes impactos, entre los que se pueden mencionar la recuperación de materiales valiosos y la generación de materias primas de bajo costo para diversas industrias [4].

Los trabajadores que realizan estas actividades generalmente no cuentan con derechos laborales, además de trabajar en condiciones riesgosas. Según el Banco Mundial al menos 60 millones de personas laboran en este tipo de trabajo, y en los últimos 15 años se ha incrementado la presencia de mujeres y niños [5].

La pepena ha sido generadora de grandes riquezas, de acuerdo con [6], la organización de pepenadores en México comienza en la década de los ochenta, en donde el agente principal de la organización es denominado “líder”, quien controla el proceso de comercialización y distribución de los residuos, otra figura relevante son sus ayudantes, llamados “cabos”, ambos acaparan gran parte de los beneficios económicos de la pepena.

Los pepenadores son explotados por los cabos y el líder y a pesar de las condiciones poco favorables de los trabajadores, según [7], para 2008 alrededor de 30 % de pepenadores ganaba entre uno y dos salarios mínimos diarios y 39% de dos a tres salarios mínimos diarios (49 pesos).

La pepena había sido anteriormente una actividad en la que predominaba el género masculino, no obstante, en los últimos años, 60 % de las personas dedicadas a la pepena (tanto adultos como niños) corresponden al género femenino y 40 % restante al masculino [7].

El Estado de Veracruz ocupa el cuarto lugar en generación de RSU en México, con 2.3 millones de toneladas anuales (5.5 %), a pesar de ello, de acuerdo con datos de [1], no se encuentra entre las entidades con mayor porcentaje de reciclaje a nivel nacional. y cuenta con una infraestructura de sitios de disposición final inadecuada, ya que, de 150 sitios existentes en la Entidad, únicamente cuatro corresponden a RS.

En 2017, [3] reportó una recolección diaria en Veracruz de 6,102,414 kg y 99.7 % de ésta, corresponde a una recolección no selectiva. En cuanto a la Subcuenca Río Tecolutla se registra una recolección diaria de 167,000 kg (como se describe en la Tabla 1), a pesar de que los municipios que conforman la Subcuenca Río Tecolutla (Tecolutla, Gutiérrez Zamora y Papantla) no reportan una separación primaria de RSU, en los SNC de cada municipio, trabajan pepenadoras y pepenadores, quienes se encargan de separar diferentes subproductos con la finalidad de venderlos como material reciclable a diferentes compradores.

Tabla 1. *Recolección diaria de RSU en la Subcuenca Río Tecolutla por municipio [3].*

Municipio	Recolección diaria (kg)	Porcentaje estatal
Gutiérrez Zamora	21,000	0.39%
Papantla	90,000	1.47%
Tecolutla	56,000	0.91%

El propósito de la investigación es conocer el manejo que se le da a los RSU en la Subcuenca Río Tecolutla, así como visibilizar el trabajo que las pepenadoras y pepenadores realizan en los SNC del área.

2. Metodología

Se realizó una investigación descriptiva y seccional. Se empleó un método de investigación cualitativo y cuantitativo para conocer el manejo que se le da a los RSU, así como las personas que trabajan en los sitios de disposición final.

Se llevó a cabo en las etapas siguientes:

1. Primera etapa. Se efectuó la investigación bibliográfica del tema a desarrollar.
2. Segunda etapa. Se diseñaron las encuestas a aplicar en el trabajo de campo.
3. Tercera etapa. Durante el trabajo de campo se aplicaron tres tipos de encuestas, a trabajadores y autoridades de los SNC antes mencionados, además a algunos miembros de la comunidad, respectivamente.
4. Cuarta etapa. Se realizó un análisis estadístico a los datos obtenidos.
5. Quinta etapa. Se analizaron los resultados y se elaboraron tanto las discusiones como las conclusiones del trabajo.

3. Resultados y discusión

3.1 Sitios de disposición final en la Subcuenca Río Tecolutla

Como se mencionó anteriormente, los SNC estudiados se encuentran en el Estado de Veracruz, en la Subcuenca Río Tecolutla, la cual abarca los Municipios de Tecolutla, Papantla y Gutiérrez Zamora. En la Figura 1 se observa la ubicación de estos sitios de disposición.

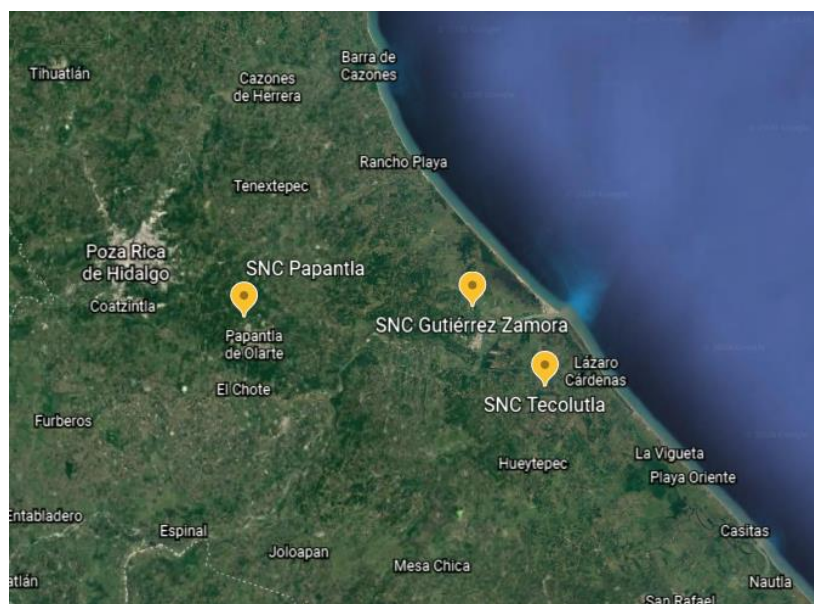


Figura 1. Mapa de la distribución de los SNC en la Subcuenca Río Tecolutla [8].

El sitio de disposición final ubicado en Papantla es un SNC que se encuentra a 4 km de la cabecera municipal. El terreno tiene aproximadamente 6.5 hectáreas de superficie, cuenta con lagunas para la contención de lixiviados, sin impermeabilización (Figura 2), lo cual implica riesgos de contaminación por la filtración de éstos, hacia el subsuelo, que pueden llegar al manto freático y los cuerpos de agua superficiales cercanos. Los RSU son cubiertos con una capa de tres metros de material natural (tierra), por cada cinco metros de RSU con flora típica de la zona. En los alrededores no se observan actividades como agricultura o ganadería.

Un lugar de disposición final, sin ningún control, queda marcado por el desgaste de la imagen del paisaje. El efecto visual negativo causado por los RSU en el SNC y su dispersión en el ambiente, provoca una percepción negativa hacia este tipo de lugares por parte de la población.



Figura 2. *Lagunas de acumulación de lixiviados en el SNC del municipio de Papantla [9].*

En el Municipio de Tecolutla, el sitio de disposición final con una extensión de 7.5 hectáreas, ha operado por aproximadamente 12 años, se encuentra alejado de la cabecera, pero cercano a una pequeña comunidad llamada El Negro, además de contar con lugares aledaños con plantación de cítricos. En este SNC existen lixiviados anegados en toda el área y se han registrado más de cuatro incendios en los últimos siete años.

En lo que respecta al Municipio de Gutiérrez Zamora, el SNC ha operado por aproximadamente 15 años, en los cuales se ha registrado un incendio. Tiene una extensión de aproximadamente tres hectáreas, los RSU son cubiertos con una capa de 40 cm de tierra por cada 80 cm de residuos, en este sitio no existen lagunas de lixiviados y existe fauna nociva, lo cual ocasiona molestia en la población. En los alrededores se encuentran tres colonias, una congregación y la Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora. La comunidad comenta que un grupo de pepenadores de la zona genera contaminación al aire, debido a la quema de llantas para facilitar la obtención de metales presentes en los neumáticos.

3.2 Acercamiento a la comunidad y a las autoridades de la Subcuenca Río Tecolutla.

Se realizaron 23 encuestas (Tabla 2), 35% a pepenadores y pepenadoras, 43% a miembros de la comunidad y 22% a autoridades de los SNC de la Subcuenca Río Tecolutla. Las respuestas de éstas fueron analizadas con estadística básica.

Tabla 2. Encuestas aplicadas por Municipio.

Municipio	Pepenadoras y pepenadores	Autoridades	Comunidad
Gutiérrez Zamora	3	1	4
Papantla	3	2	3
Tecolutla	2	2	3

De acuerdo con las encuestas realizadas a miembros de la comunidad del sitio de estudio, la mayor parte de ellos percibe que la mejor manera de resolver los problemas de RSU en su región es fomentando la educación ambiental y creando conciencia ecológica, en contraste con las autoridades de los mismos municipios, quienes apuestan al reciclaje como la mejor solución a dicha problemática (Figura 3).

Estos diferentes puntos de vista resultan interesantes, ya que las autoridades afirman que la mejor solución a la problemática del manejo de RSU es el reciclaje, la cual es una de las alternativas para disminuir el volumen de residuos que son llevados a disposición final y reintegrarlos a procesos productivos, esta perspectiva apuesta a la sustentabilidad global, que de acuerdo con [10], privilegia los mecanismos de mercado para valorizar la naturaleza y el cambio tecnológico, esto delega la responsabilidad de sustentabilidad a los centros de poder económico, dejando a países como México con economías emergentes en subordinación y dependencia, además de desvalorizar el proceso educativo para transitar a la sustentabilidad.

En cuanto a la comunidad, considera como mejor opción la educación ambiental, esto implica la búsqueda de la construcción de una racionalidad ambiental, que podría trascender la estructura social y así llegar a convertir la sustentabilidad en un proyecto político a través de diversos actores sociales, motivados por diferentes racionalidades y saberes, orientados a prácticas de gestión ambiental. De lo anterior surge el cuestionamiento, ¿la sociedad se encuentra interesada en generar soluciones (en este caso) para el manejo de RSU, pero las autoridades no apuestan a la inclusión de la comunidad en estos temas?

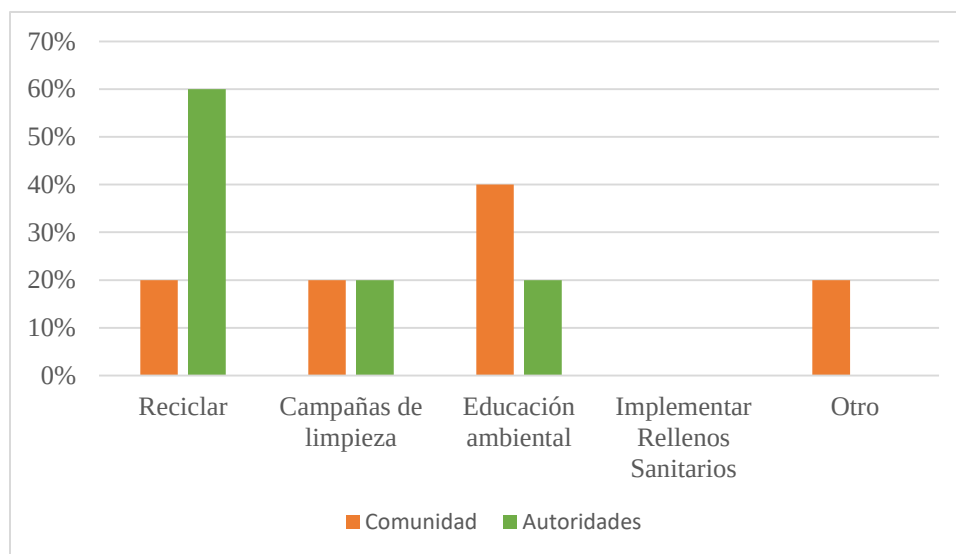


Figura 3. Comparación de las maneras de solucionar el problema de RSU, de acuerdo con la comunidad y a las autoridades de la Subcuenca Río Tecolutla.

También fue posible y de suma importancia contrastar la percepción de los habitantes y autoridades sobre el SNC, ya que 50 % de los vecinos entrevistados piensan que es peligroso para la población, debido a que existen olores y fauna nociva a los alrededores y existe el riesgo de contraer enfermedades intestinales debido a los mismos. En contraste, 60 % de las autoridades no creen peligrosos los SNC, ya que comentan que se evitan olores y plagas, a pesar de esto, 40 % piensa que la contaminación al subsuelo es una posibilidad, debido a que no se tienen los controles adecuados para el almacenamiento de lixiviados.

Derivado de lo anterior, se recomienda el análisis de suelos agrícolas, forestales, residenciales o recreativos y cuerpos de aguas cercanos a los SNC, para determinar compuestos orgánicos tóxicos, compuestos nitrogenados como amonio y metales pesados. Debido al manejo inadecuado de lixiviados, la contaminación del suelo y cuerpos de agua cercanos es posible, aumentando el riesgo hacia las poblaciones, ya que como se acotó anteriormente, en ambos municipios los SNC están ubicados en los alrededores, donde se desarrollan actividades antrópicas; en Gutiérrez Zamora hay plantaciones de cítricos y en Tecolutla se encuentra la comunidad “El Negro”.

Con la aplicación de encuestas a pepenadoras y pepenadores, fue posible conocer un aproximado de la cantidad semanal de los subproductos recolectados (Figura 4). Como se puede apreciar, el PET es el subproducto más recolectado en los SNC de la Subcuenca Río Tecolutla con más de seis toneladas semanales, seguido por el cartón con una cantidad aproximada de tres toneladas semanales.

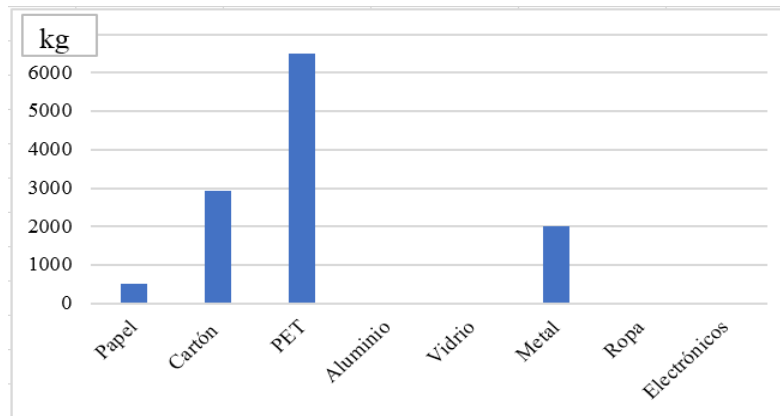


Figura 4. Subproductos recolectados semanalmente por los pepenadores en la Subcuenca Río Tecolutla.

Los residuos antes mencionados poseen capacidad de valorización y reintegración a procesos productivos; se reportó que 62 % de los pepenadores y pepenadoras venden los residuos a particulares, mientras que 25 % a recicladoras (Figura 5).

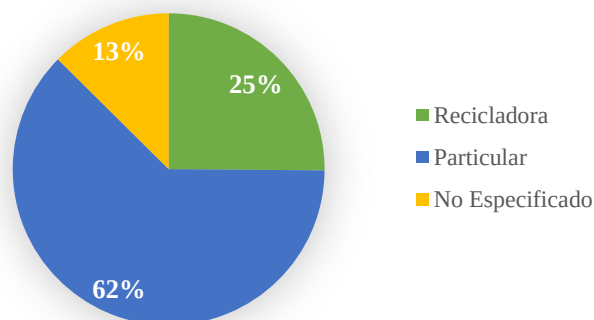


Figura 5. Venta de subproductos recolectados por pepenadores de los SNC de la Subcuenca Río Tecolutla.

En cuanto a las condiciones laborales de las pepenadoras y pepenadores destaca la falta de prestaciones laborales, entre ellas el acceso a la salud pública (Figura 6), ya que sólo 13 % reporta tener seguro social, mientras que 63 % dice que no tiene acceso a la salud pública, 25 % indica que tiene acceso a la salud a través de programas sociales como Prospera o ayuda para los gastos médicos privados.

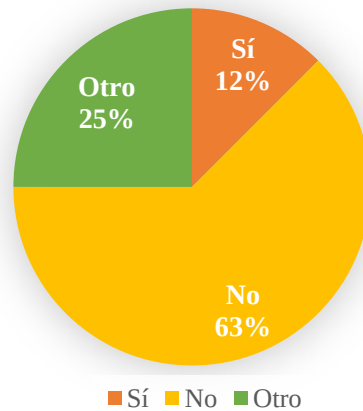


Figura 6. Seguridad médica entre las pepenadoras y pepenadores de la Subcuenca Río Tecolutla.

Lo anterior resulta alarmante, ya que de acuerdo con [7], existe la posibilidad de que las pepenadoras y pepenadores se accidenten o contraigan enfermedades leves o mortales, debido a que en los SNC se encuentran en contacto con diversos agentes infecciosos. Si bien, existe poca literatura sobre las enfermedades que pueden sufrir las personas dedicadas a esta labor, en la Subcuenca Río Tecolutla 38 % reporta haber sufrido enfermedades relacionadas con su trabajo, algunas de ellas han sido fiebre e infecciones estomacales. Se recomienda estudiar algunas de las enfermedades o síntomas que los pepenadores y pepenadoras presentan con mayor frecuencia, con la finalidad de encontrar controles para prevenirlas o disminuir su ocurrencia.

Como se menciona anteriormente, se estima que 60% de las personas trabajadoras en la pepena son mujeres, este hecho resulta interesante, ya que de acuerdo con [11], cientos de miles de mujeres han tomado espacios en las calles de las ciudades de América Latina para convertirlas en un medio de subsistencia; a escala mundial están rompiendo todos los días los mandatos del espacio social, luchando por la supervivencia, la emancipación económica, tomando campos de trabajo que eran exclusivamente masculinos, como lo solía ser la pepena.

Estas rupturas son fenómenos masivos, que tienen como protagonistas a mujeres de diferentes orígenes, generaciones y clases, que retratan un campo fecundo de micro-rebeldías en el mundo de las mujeres. Esto no se trata de una revolución anti-patriarcal, tampoco de una revuelta colectiva, pero sí de una multiplicidad de fenómenos paralelos que tienen como consecuencia la erosión y el resquebrajamiento de la adhesión de las mujeres a la familia, tradiciones y los mandatos patriarcales [11].

A partir de lo anterior, se recomienda la investigación de la pepena con una perspectiva de género o feminista que ayude a entender este oficio más allá de los estereotipos sociales, con la finalidad de elaborar nuevos contenidos de socialización y relación entre mujeres y hombres.

4. Conclusiones

En la Subcuenca Río Tecolutla se realiza un manejo básico de RSU, el cual consiste en recolectar y disponer de los mismos en los SNC de los municipios que la conforman. Debido a la falta de separación

primaria, la única forma de recuperar los residuos susceptibles a aprovechamiento o valorización es la pepena realizada en los sitios de disposición final, en donde la mayor parte de los materiales recuperados son PET y cartón.

Los sitios de disposición final del área de estudio no cumplen con las especificaciones de protección ambiental de la NOM-083-SEMARNAT-2003 [12], ya que únicamente en uno de los SNC son almacenados los lixiviados, sin embargo, no de la manera óptima para evitar su infiltración al suelo o a cuerpos de agua cercanos. Esto resulta preocupante, ya que 67 % de los SNC de la zona se encuentran cercanos a zonas pobladas o con actividad agrícola.

La separación y recolección de materiales susceptibles a valorización es actualmente, realizada sólo por las pepenadoras y los pepenadores que laboran en los SNC, siendo esta la única manera de reducción del volumen de RSU en la Subcuenca. Resulta interesante resaltar que no se le dé importancia a la capacitación y seguridad laboral de las pepenadoras y pepenadores, ya que es posible que, de brindar condiciones laborales óptimas, tanto la eficiencia como la eficacia de recolección por parte de estos aumente, al mismo tiempo que el volumen de residuos confinados disminuya, beneficiando no sólo al ambiente, sino a la comunidad de la Subcuenca Río Tecolutla y a un sector sistemáticamente invisibilizado.

5. Agradecimientos

Se agradece de la manera más atenta a las y los estudiantes Betzaida Aeglae Anzures Sánchez, Alexis Iván Anota López, Diana Ailed Domínguez León y Elihezer González Ledo por su valiosa colaboración en el trabajo de campo.

Cabe hacer mención que los resultados presentados forman la primera parte del proyecto SIP 20201414, del Instituto Politécnico Nacional.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] SEMARNAT. (2018). *Programa para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. En línea <http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/PNPGIR%20_2017-2018.pdf> Recuperado el 13/07/2020.
- [2] SEMARNAT. (2019). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. En línea <<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap7.html#tema1>> Recuperado el 18/03/2020
- [3] INEGI, (2017). *Residuos Sólidos*. Recuperado el 18/03/2020. En línea <<https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2017/default.html#Tabulados>>
- [4] Favela Ávila, H y Ojeda Benítez, S. (2013). *Los pepenadores en la recolección de reciclables en sitios de disposición final en Baja California, México*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 29. 59-65.
- [5] Medina, M. (2010). *Ocho mitos sobre el reciclaje informal en América Latina*. En línea: <<http://www.inforegion.pe/51962/ocho-mitos-sobre-el-reciclaje-informal-en-america-latina/>> Recuperado el 10/04/2020.
- [6] Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México. (2000). *El Sector Informal en la separación del material reciclable de los residuos sólidos municipales en el Estado de México*. En línea <<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/sectorinformalresiduos.pdf>> Recuperado el 15/04/2020.

- [7] Cervantes Niño, J. y Palacios Hernández, L. (2012). *El trabajo de la pepena informal en México: nuevas realidades, nuevas desigualdades*. Estudios Demográficos y Urbanos, 27, 95 – 117.
- [8] Google Earth. (2020). *Subcuenca Río Tecolutla* [mapa]. En línea <<https://earth.google.com/web/@20.43876605,-97.1760722,12.93490662a,29993.42444079d,30y,0h,0t,0r/data=MicKJQojCiExdnJFeFhHTTlTejg5ZmkxcXg5X0J6Uk9yNFVDZ2ZTRm4>> Recuperado el 13/07/2020.
- [9] Anota López, A. (2019). *Lagunas de lixiviados en Papantla* [fotografía].
- [10] Leff, E. (1998). Educación Ambiental y Desarrollo Sustentable. *Ingeniería Sanitaria & Ambiental*. En línea <<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Jun-Jul2004/pdf/spa/doc10388/doc10388-contenido.pdf>> Recuperado el 08/06/2020.
- [11] Galindo, M. (2013). *No se puede descolonizar sin despatriarcalizar: teoría y propuesta de la despatriarcalización*. En línea <<https://drive.google.com/file/d/0B0eSNzKvGUMNMUZfTi1qazI4dTA/view>> Recuperado el 19/06/2020.
- [12] SEMARNAT. (2003). *Norma Oficial Mexicana 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*. En línea <<https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf>> Recuperado el 15/05/2020.

Análisis del manejo de residuos sólidos generados en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán

Ricardo Herbé Cruz Estrada, Carlos Vidal Cupul Manzano, Victor Enrique López Custodio, Ricardo de la Rosa García

Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. Unidad de Materiales, Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Chuburná de Hidalgo; CP 97205, Mérida, Yucatán, México; Tel : (52) 999 942 83 30. rhcruze@cicy.mx

Resumen

Los planes de manejo integral de residuos son necesarios para minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos (RSU), bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social. Esta investigación toma las “Disposiciones generales para el manejo de residuos en el Parque Científico Tecnológico de Yucatán” como punto de partida para analizar el manejo de los residuos sólidos que se depositan en el centro de acopio, elaborar un diagnóstico sobre su funcionamiento y proponer una serie de acciones encaminadas a mejorar los procesos de disposición de los residuos. Nos interesa, de manera particular, la cantidad y el tipo de plásticos depositados en el centro de acopio, ya que se han convertido en materiales indispensables y suponen ser responsables de gran parte de la contaminación del planeta. En este trabajo se reporta la clasificación porcentual de los tipos de plásticos encontrados. El análisis de los residuos se realizó con una frecuencia semanal durante un par de meses. Los resultados nos permiten afirmar que el tereftalato de polietileno (PET) es el plástico que se deposita en mayor medida en el centro de acopio, y que se requiere un mejor conocimiento de la naturaleza de los residuos sólidos y mayor educación ambiental en las personas encargadas de la disposición. También se requiere un mayor compromiso de las compañías encargadas de la disposición final de los RSU.

63

Palabras Clave: Centro de acopio, clasificación, plásticos, manejo de residuos.

1. Introducción

Es un hecho indudable que el gran desarrollo económico, el avance en la industrialización, el incremento demográfico y la creciente sofisticación de la tecnología, han dado como resultado una ampliación en los satisfactores materiales y un mejoramiento en el nivel de vida de los seres humanos. Sin embargo, esto se ha logrado a costa de pagar un alto precio: *el deterioro del medio ambiente*, debido a que de éste se extraen todos los recursos naturales y materias primas que se utilizan y se transforman para nuestro consumo. Uno de los grandes problemas de este acelerado desarrollo es el aumento constante en la *generación de residuos*.

El inadecuado manejo de los residuos genera impactos severos e irreversibles al medio ambiente, la salud humana y consecuentemente a la calidad de vida. Una de las principales acciones tomadas por diferentes organizaciones para combatir el problema en la disposición de residuos, es la aplicación de planes de manejo integral, con el fin de tener un control y una buena disposición de éstos y evitar un impacto ambiental más significativo al medio ambiente e incluso a la salud.

Los residuos requieren un manejo integral, que incluye el control de la generación, la separación, la recolección, la transferencia, el transporte, el procesamiento y la disposición final, involucrando aspectos de salud pública, economía, ingeniería, conservación, estética, ambiente y política. Para lograr la implementación de un sistema de manejo integral de residuos en nuestra sociedad, es necesaria la participación de todos.

En el estado de Yucatán, ante el inadecuado manejo de los residuos sólidos en los municipios del Estado, con la consecuente contaminación del medio ambiente, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (organismo estatal), a través de la Dirección de Restauración y Saneamiento Ambiental, apoya a los municipios en la realización de acciones para el manejo integral de los residuos sólidos urbanos no peligrosos. El objetivo general es promover acciones, en el ámbito municipal, encaminadas a prevenir y evitar la contaminación del ambiente mediante la aplicación de un Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos, con la colaboración coordinada de las dependencias de los tres niveles de gobierno y la participación efectiva de la sociedad [1].

El Parque Científico Tecnológico de Yucatán (PCTY) es el área destinada para esta investigación. Se localiza en el municipio de Mérida, sobre la carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto. Alberga Centros de Investigación e Instituciones de Educación Superior, así como empresas privadas que comparten el objetivo de trabajar coordinadamente para impulsar el desarrollo de la región, basado en el conocimiento científico, el desarrollo tecnológico y la innovación en sectores estratégicos.

Para este estudio se consideró al PCTY como una comunidad, dadas sus dimensiones, la cantidad de Instituciones que alberga, y la gran cantidad de personas que realizan ahí actividades durante la mayor parte del año. Estudios similares se han realizado en diferentes instituciones [2]. El PCTY estableció disposiciones generales para el manejo de residuos, creando un centro de acopio para el almacenaje temporal de los desechos generados por las distintas instituciones (Figura 1). Dichas disposiciones se implementaron debido a la falta de una correcta disposición de los desechos. Antes eran concentrados en un lugar predeterminado, pero sin ningún seguimiento o vigilancia, originando la creación de un tiradero a cielo abierto dentro del Parque, causando problemas de salud y la rápida aparición de fauna nociva, además de contaminación visual del parque.



Figura 1. Centro de acopio de residuos sólidos del PCTY.

El centro de acopio se encuentra en la zona sur del parque, a una distancia considerable de la mayoría de los edificios de las diferentes instituciones que lo integran. Este tiene una antigüedad de tres años. Dentro de las disposiciones generales propuestas están establecidos los días de recepción, la clasificación de los desechos, el lugar y forma de recepción. En el centro de acopio no se reciben residuos de manejo especial (material de construcción, varillas, escombros, etc.), residuos peligrosos (aquellos que poseen las características CRETIB: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico ambiental, inflamable y biológico-infeccioso), bolsas que no estén debidamente cerradas y cajas de cartón no atadas.

Otra de las acciones tomadas por el Parque para la correcta clasificación de los residuos que se generan, es el diseño y construcción de una batería de contenedores de dimensiones reducidas, como se aprecia en la Figura 2, y que se ofrece a las instituciones que lo requieran.



Figura 2. Batería de contenedores diseñadas por el PCTY.

Los residuos sólidos urbanos son desalojados del Parque por la empresa municipal Servi-limpia, la cual es una empresa de servicio de recolección, traslado y manejo responsable de los residuos sólidos urbanos, generados en zonas específicas de la ciudad de Mérida y en algunas comisarías. Se tiene establecido un horario para la recolección de residuos del Parque por parte de Servi-limpia: lunes, miércoles y viernes de 10:00 h -12:00 h

El objetivo de este trabajo es analizar cómo responde una comunidad ante protocolos establecidos para la disposición de residuos. Este estudio se realizó considerando al PCTY como una comunidad, dadas las características que tiene, las cuales ya se han mencionado. Ultimadamente, lo que se busca con este estudio es analizar si los protocolos establecidos funcionan o no con la finalidad de hacer propuestas correctivas a las autoridades del PCTY. Este trabajo es importante puesto que proporciona información valiosa con potencial de ser replicable en otras comunidades, por supuesto considerando las características específicas de cada comunidad.

2. Metodología

Con el fin de obtener información que posteriormente sirviera para realizar un análisis cuantitativo y cualitativo de los resultados, se realizaron muestreos de los desechos depositados en el centro de acopio, como se aprecia en la Figura 3A, considerando como comunidad de estudio a toda la gente que labora en el PCTY. Cada muestreo tuvo una duración de una semana, en diferentes periodos de tiempo. Actualmente existen las “Disposiciones generales para el manejo de residuos en el Parque Científico Tecnológico de Yucatán”, que entró en vigor el día 4 de abril de 2017, donde se tienen establecidas las clasificaciones para los desechos generados.



Figura 3. A) Clasificación de residuos. B) Pesaje de plásticos.

Para el pesaje de los diferentes residuos se utilizó una báscula de piso Oken modelo N50-51 con capacidad de 200 kg, y una balanza analítica Revuelta modelo Rebcon con capacidad de 15 kg, para el pesaje de la fracción de plásticos (ver Figura 3B). Fue necesario el uso de una bata de trabajo y una careta de la marca

Truper para minimizar los riesgos para la salud de quienes manipularon los materiales durante este estudio. También se usó un cubrebocas marca Custompiec, unos guantes de látex, guantes de carnaza Truper modelo GU-535 para la manipulación de los desechos, y unas botas industriales de hule Truper modelo BOT-29I.

Para evaluar el cumplimiento de las disposiciones generales establecidas por el PCTY y, en general, las acciones de las instituciones que depositan sus residuos en el centro de acopio, se verificó que la clasificación de los mismos, en las bolsas depositadas en los contenedores, sea la correcta de acuerdo con el calendario de la Tabla 1.

Tabla 1. Calendario de depósito de residuos sólidos del centro de acopio del PCTY.

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
ORGÁNICO	PAPEL Y CARTÓN	ORGÁNICO	PAPEL Y CARTÓN	ORGÁNICO
SANITARIO	INORGÁNICO	SANITARIO	INORGÁNICO	SANITARIO
PLÁSTICO		PLÁSTICO		PLÁSTICO

Durante las verificaciones en la zona de acopio se llevó a cabo el siguiente procedimiento para los residuos de papel y cartón, orgánicos e inorgánicos:

- Se limpia el área para trabajar en un ambiente seguro.
- Se sacan las bolsas de cada contenedor y se abren para verificar su correcta clasificación.
- Si se observa que las bolsas contienen variedad de residuos, se vacían y se clasifican de manera correcta.
- Los residuos clasificados se depositan en las bolsas adecuadas y se registra el peso.
- Las bolsas que contienen residuos sanitarios solo se abren y se observan, ya que por higiene no se deben de manipular.

En el caso de los residuos plásticos, que se recuperan para que algunos sean empleados en proyectos de transformación de plásticos. Se utilizó el siguiente procedimiento:

Se abren las bolsas y si se observa que contienen residuos diferentes, se realiza la clasificación.

Se pesan y registran los plásticos después de la clasificación.

Se realiza la clasificación de los plásticos de acuerdo con el código internacional, que se observa en la Figura 3 [3].



Figura 4. Códigos de identificación de plásticos.

Una vez clasificados, se pesan y se almacenan para su posible uso posterior.

Los muestreos se realizaron en 2 etapas: septiembre–octubre 2018 y septiembre–octubre 2019. En la primera etapa se realizaron tres muestreos y los residuos plásticos no fueron clasificados por tipo. El

primer muestreo se realizó del 10 al 14 de septiembre, el segundo del 24 al 27 de septiembre y el tercero del 8 al 12 de octubre de 2018. En la segunda etapa, el periodo de muestreo fue de 6 semanas, del 9 de septiembre al 25 de octubre, con una pausa del 14 al 18 de octubre.

3. Resultados

En la primera etapa, durante la primera semana, se observó que se aceptaban en el centro de acopio las bolsas de desechos tal y como se entregaban, sin abrirlas para verificar su contenido. Además, se aceptaban otros tipos de desechos que no correspondían al día acordado. Los desechos inorgánicos de las bolsas correspondientes estaban mezclados con otros tipos que no correspondían a ese contenedor, encontrándose unicel, orgánicos, papel, y bolsas de plástico, entre otros. En las bolsas del contenedor de orgánicos había papel y pequeñas bolsas de plástico con residuos orgánicos. Las bolsas del contenedor de papel y cartón sí contenían, en general, lo correspondiente. Las bolsas del contenedor de plásticos contenían mucho cartón, papel y aluminio, y se encontraron diferencias en el peso con respecto al registrado por el encargado, debido a que se eliminaron líquidos contenidos en los envases. Los residuos sanitarios se clasificaron bien en general.

Durante la segunda semana se notó cierto progreso en la clasificación y separación de los desechos de las instituciones. Con respecto a los plásticos, existió nuevamente diferencia en los pesos registrados oficialmente en la bitácora del centro de acopio, debido a que se retiraron líquidos, contenidos principalmente de los envases, ya que se depositaban así sin retirar restos de sustancias que pudieran contener. En los desechos inorgánicos se encontraron otros correspondientes a diferente clasificación. Esto se observó en aquellas bolsas provenientes de los andadores del PCTY, donde sólo existen contenedores con las clasificaciones de orgánicos e inorgánicos, a diferencia de las 5 clasificaciones que manejan las instituciones normalmente, como se establece en el plan de manejo. Los desechos de papel y cartón, orgánicos y sanitarios estuvieron bien clasificados.

En la tercera semana de muestreo se observó un cambio favorable, ya que las bolsas se revisaban para verificar que los residuos estuvieran bien clasificados, y así ser depositados en los contenedores correspondientes. Sin embargo, en ocasiones se recibieron residuos que no correspondían al día acordado, además de que no siempre se llevó a cabo la verificación del contenido de las bolsas por el personal encargado. Con frecuencia, las bolsas de desechos inorgánicos no se inspeccionaban adecuadamente, por lo que al verificarlas aún contenían plástico y papel y cartón. Por otra parte, se encontraron desechos orgánicos, provenientes de los comedores del parque, además de papel y cartón, en los residuos plásticos. En los otros tipos de desechos no se encontraron residuos diferentes.

En la segunda etapa, durante la primera semana, se observó que las bolsas del contenedor de plásticos contenían desechos orgánicos (residuos de frutas y restos de comida en recipientes desechables), papel y cartón e inorgánicos (latas de aluminio y vidrio). En los desechos orgánicos se encontraron residuos plásticos (botellas de PET), papel y cartón (hojas de libretas), y desechos inorgánicos. También se encontró material de laboratorio (jeringas y agujas), que se considera como desecho peligroso. Los residuos sanitarios son los que mejor clasificados estaban, pero en este contenedor se encontraron piezas de cartón que no estaban atados. El camión recolector no se presentó el día convenido y los contenedores estuvieron prácticamente llenos, por lo que los encargados de las diferentes instituciones depositaban sus bolsas de residuos a un costado de los mismos. Parte de las bolsas de desechos plásticos se depositaron en el mismo contenedor que los desechos inorgánicos, ya que en los otros contenedores no había mucho espacio.

A manera de ejemplo, se presenta en la Tabla 2 el formato de registro de residuos. En este caso corresponde al lunes 9 de septiembre de 2019. En este caso particular se puede apreciar que los desechos orgánicos y los plásticos venían mezclados con otros tipos de residuos.

Tabla 2. Datos del muestreo de residuos sólidos de un día determinado.

LUNES 9 DE SEPTIEMBRE DE 2019						
RESIDUOS ENCONTRADOS EN CADA CONTENEDOR	CONTENEDOR PARA CADA TIPO DE RESIDUOS					
	PLÁSTICOS		ORGÁNICOS		SANITARIOS	
	kg	%	kg	%	kg	%
PLÁSTICO	20.060	66.42	1.010	4.20		
ORGÁNICO	2.000	6.62	17.280	72.00		
SANITARIO					26.240	100
PAPEL Y CARTÓN	4.950	16.40	2.210	9.20		
INORGÁNICO	3.190	10.56	3.500	14.60		
TOTAL	30.200	100.00	24.000	100.00	26.240	100

En otra ocasión, en el contenedor para papel y cartón se encontraron bolsas con residuos sanitarios, plásticos (en su mayoría botellas y bolsas de supermercado) y desechos inorgánicos como bolsas de frituras. En el contenedor para desechos inorgánicos se encontraron pocos residuos plásticos (bolsas de supermercado y botellas de PET).

La clasificación de residuos plásticos evidenció que la mayor proporción fue de PET y la menor de PVC, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de residuos plásticos por tipo.

68

CLASIFICACIÓN DEL PLÁSTICO (kg)						
SEMANA 1: 09 SEPTIEMBRE-13 SEPTIEMBRE 2019						
NUMERACIÓN Y NOMBRE DE LA CLASIFICACIÓN	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL
1 PET	9.160	0.475	4.410	0.035	1.560	15.640
2 HDPE	1.110	0.095	0.435		0.735	2.375
3 PVC	0.645					0.645
4 LDPE	5.230	0.215	1.045	0.275	0.460	7.225
5 PP	0.490	0.050	0.145	0.035	0.035	0.755
6 PS	1.325	0.675	0.545	0.020		2.565
7 Otros	3.110	0.245	0.265	0.440		4.060
TOTAL	21.070	1.755	6.845	0.805	2.790	33.265

En la segunda semana de muestreo, en los desechos de papel y cartón se encontraron plásticos, orgánicos, inorgánicos y sanitarios. En los desechos inorgánicos se encontraron muchas bolsas pequeñas y botellas de refrescos. El contenedor de desechos plásticos fue el más lleno debido a los residuos de PET (botellas), ya que son los que ocupan mayor volumen, se encontraron además residuos inorgánicos (botellas de licor).

Debido a la falta de espacio en el contenedor de desechos plásticos, ya que el camión de Servi-limpia no se presentó el día asignado, encargados de las diferentes instituciones colocaron por fuera sus residuos. La recolección de residuos orgánicos y sanitarios fue mínima, y para éstos si había lugar, ya que aunque son

muy pesados, su volumen es menor. Además, estaban bien clasificados. En esta semana se recolectó mayor cantidad de PET que en la primera, a pesar de que el centro de acopio sólo estuvo abierto 4 días.

Durante la tercera semana de muestreo los desechos orgánicos, plásticos y sanitarios se encontraron bien clasificados. Los residuos orgánicos resultaron ser elevados debido a que se encontraron semillas de diferentes variedades, que tienen mayor peso, además de restos de frutos. La clasificación de los otros desechos tampoco presentó problemas. Se observó un gran progreso, ya que cada uno de los residuos estuvo en la clasificación correspondiente. La mayor generación de residuos plásticos volvió a ser de PET.

En la cuarta semana de muestreo, en las bolsas del contenedor de residuos de papel y cartón había plásticos e inorgánicos (pedazos de vidrio), y en los inorgánicos se encontraron residuos plásticos. Las bolsas de desechos de los demás contenedores estuvieron bien clasificadas, observándose cierta mejoría en la clasificación y separación.

Durante la quinta semana de muestreo, en los desechos plásticos se encontraron sanitarios, orgánicos y papel y cartón. En el contenedor de desechos orgánicos sólo se encontraron inorgánicos (bolsas de frituras, aluminio, vidrio, etc.). En los desechos sanitarios se encontraron plásticos, orgánicos, papel y cartón. Estos últimos estaban húmedos, por lo que tenían mayor peso. Los residuos diferentes no estaban en las bolsas de los sanitarios, pero sí en el mismo contenedor.

Las bolsas del contenedor de papel y cartón estaban bien clasificadas, pero las cajas de cartón no estaban atadas, y algunas de las bolsas tampoco. En los desechos del contenedor de inorgánicos se encontraron alrededor del 20% de orgánicos. Servi-Limpia no se había presentado por los residuos, por lo que los contenedores quedaron totalmente llenos y algunas bolsas con desechos plásticos fueron encontradas a un lado de su contenedor. Finalmente, se presentó el camión recolector, llevándose todos los desechos. Los residuos plásticos que se generaron en mayor cantidad fueron los de PET.

En la sexta semana de muestreo, en el contenedor de desechos inorgánicos se encontraron residuos de papel y cartón. En el contenedor de desechos orgánicos se encontraron residuos inorgánicos y de papel y cartón, pero fue una cantidad mínima. En el contenedor de residuos de papel y cartón había piezas de cartón sin atar, pero todos los desechos correspondían al mismo. En los contenedores de desechos plásticos y sanitarios todo estuvo bien clasificado. Durante esta semana los residuos generados fueron mínimos. La mayoría de los plásticos clasificados fueron residuos de PET.

Después de contabilizar todos los datos de los muestreos, se puede afirmar que la fracción de residuos sólidos que se genera en mayor cantidad en el PCTY es la de orgánicos, y la menor de papel y cartón. El PET es el residuo plástico que se genera en mayor cantidad en el Parque, y una gran parte corresponde a envases de refrescos. El residuo plástico que se genera en menor cantidad es el PVC (policloruro de vinilo). De las otras clasificaciones de plásticos se encontraron pocas cantidades, ya que provienen de productos que no se consumen mucho en el PCTY.

4. Conclusiones

Se conocieron diferentes anomalías en la administración del centro de acopio del PCTY, que se presentaron principalmente debido a la falta de personal, pues no se cuenta con un encargado de tiempo completo. No existe una buena vigilancia del personal encargado de la recepción de los desechos. También se observó un pobre conocimiento sobre la clasificación y separación correcta de desechos, del personal de la mayoría de las instituciones del parque.

La correcta clasificación de los residuos facilita la recuperación de los que aún se pueden reutilizar y valorizar, como el cartón y los plásticos. Los primeros días del muestreo existía una problemática significativa en la separación de los desechos, ya que era común encontrar residuos diferentes en los contenedores correspondientes, lo cual evidencia falta de comprensión.

El principal problema en la clasificación de los desechos fue en el contenedor de inorgánicos, ya que en éste depositaban residuos que tenían su propia clasificación, como el plástico, y en ocasiones no separaban los inorgánicos de los orgánicos. Los residuos sanitarios eran depositados en el contenedor de papel y cartón quizá por confusión, ya que se trata de papel, pero tiene su propia clasificación. Algunos encargados de los desechos de las instituciones, depositaban papel y cartón en el contenedor de residuos plásticos, probablemente porque al llevarlos al centro de acopio se daban cuenta que no se abrió el contenedor correspondiente, y lo depositaban en uno diferente. Sucedió lo mismo cuando no había labores un día y los diferentes encargados tenían residuos acumulados, ya que los depositan en cualquier contenedor al día siguiente.

Algunas de las “Disposiciones generales para el manejo de residuos en el parque científico tecnológico de Yucatán” que no se cumplieron adecuadamente, son:

IV. Las cajas de cartón y tetra pack, deberán estar plegadas y amarradas, para así colocarlas en el contenedor correspondiente.

V. Los envases de plástico y tetra pack se recomiendan estén lavados y, para optimizar el espacio, se deberán depositar comprimidos y en bolsas debidamente cerradas.

VII. Cada institución residente del Parque Científico deberá depositar los residuos, debidamente separados, dentro del contenedor correspondiente.

Los días establecidos para la recepción de los diferentes tipos de desechos, en general, no eran respetados por el personal de las instituciones.

De manera general, existió buena disposición para mejorar por parte del personal de las instituciones, lo cual se demostró en las últimas semanas del muestreo, en las que disminuyeron los desechos encontrados en clasificaciones ajenas. Probablemente el personal encargado de depositar los residuos se fijó que dentro de las instalaciones del centro de acopio se revisaban las bolsas depositadas. Sin embargo, nada se le comentó ni llamó la atención a ningún encargado, por lo que quizá ya se va creando una concientización y cultura ecológica en la población que reside en el parque.

Se estableció la revisión preliminar de las bolsas de desechos en la recepción, antes de aceptarlas, sin embargo, se siguieron presentando algunos problemas en la clasificación y separación correcta de los desechos.

Agradecimientos

Se agradece al personal responsable del programa de manejo de residuos sólidos del PCTY, por permitirnos el acceso a las instalaciones del centro de acopio y darnos las facilidades para realizar el presente estudio. Este trabajo es producto del proyecto iniciativa UMT-2016-0012, “Ciencia, arte y conservación ambiental: desarrollo de estrategias creativas para fomentar el reciclado de materiales mediante la comunicación pública de la ciencia”.

Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaría de Desarrollo Sustentable. (2019). Residuos sólidos. En línea <<http://sds.yucatan.gob.mx/residuos-solidos/index.php>> Recuperado el 08/12/2019.
- [2] Ruiz Morales, M. (2012). Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(1), 93-97. .
- [3] Defalla, Alberto Manuel, (2016). Clasificación de materiales Plásticos. En línea <<https://albertomanueldefalla.wordpress.com/tipos-de-materiales-plasticos/>> Recuperado el 12/11/2019.

Implementación de carbones activados de cáscara de naranja y borra de café en electrodos de pasta como alternativa a la valorización de residuos agroindustriales

Ana Karen Ortiz Martínez, Luis Arturo Godínez Mora-Tovar, Irma Robles Gutiérrez

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C. (CIDETEQ), Parque Tecnológico Querétaro, 76703 Sanfandila, Pedro Escobedo, Querétaro, México. E-mail: irobles@cideteq.mx

Resumen

En este trabajo se presenta la elaboración de electrodos de pasta de carbono modificados con dos tipos de carbón activado, obtenidos a partir de residuos agroindustriales siendo estos la cáscara de naranja y borra de café. Se probaron diferentes proporciones de aceite de silicona como agente aglomerante (40 %, 35 %, 30 %) así como diferentes porcentajes de carbón activado agroindustrial (carbón activado de cáscara de naranja y carbón activado de borra de café) presente en los electrodos. Los electrodos elaborados fueron caracterizados mediante voltamperometría cíclica. Se usó como electrolito soporte HNO_3 0.1 M y el par redox $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} / [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ 0.001 M como molécula sonda. La mejor respuesta electroquímica se obtuvo con los electrodos modificados con 35 % carbón activado y 30 % de aglomerante para ambos casos. Sin embargo, el carbón activado de residuos de café presenta mejor respuesta en corriente de pico, lo que hace factible su implementación en el estudio de la reacción de reducción de oxígeno.

Palabras Clave: *Carbón activado, electrodos de pasta de carbono, reacción de reducción de oxígeno, residuos agroindustriales*

71

1. Introducción

A nivel mundial México es líder agroindustrial en el procesado de café y naranja, de acuerdo con lo reportado por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA) en el 2018 en México se produjeron 4.5 millones de sacos de café y 4.6 millones de toneladas de naranja. Sin embargo, estas agroindustrias se encuentran entre las que generan mayor cantidad de residuos debido a los bajos porcentajes de aprovechamiento de la materia prima [1]. En el caso del café sólo se aprovecha económicamente el grano, lo que corresponde un 10 % del peso del fruto fresco, en cuanto a la naranja, la agroindustria juguera sólo aprovecha el 40 %. Esto indica que el 90 % en el caso del café y 60 % en el caso de la naranja corresponde a residuo [2].

Debido a esto han surgido alternativas y propuestas para el aprovechamiento y valorización de los residuos agroindustriales. Aunado a lo anterior en el presente trabajo se utilizaron residuos agroindustriales; borra de café y cáscara de naranja como materia prima en la fabricación de carbones activados debido a las biomásas lignocelulósicas que presentan, éstas tienen como particularidad alto contenido de compuestos orgánicos y bajos contenidos de cenizas, éstas son características sumamente aprovechables a la hora de someter los residuos a mecanismos de activación física o química durante la síntesis [3]. Los carbones activados obtenidos se emplearon como modificadores de electrodos de pasta de carbono. Los electrodos de pasta de carbono (EPC) están constituidos por una mezcla de polvo de grafito y aglutinante que se envasa en un cuerpo cilíndrico para formar un electrodo, estableciendo el contacto eléctrico mediante un metal conductor [4].

Varios estudios se han enfocado en la preparación de electrodos de pasta de carbono modificados (EPCM) superficialmente y en masa, puesto que mejoran sus propiedades como corriente capacitiva, polarizabilidad individual, y cinética de reacciones específicas. La modificación en masa consiste en

formar compósitos de grafito con otros materiales, entre los que destacan líquidos iónicos, tintas orgánicas, zeolitas, y materiales carbonosos (nanotubos, alambres, películas y carbón activado comercial) [5].

Entre los materiales carbonosos usados para formar compósitos, han surgido la cáscara de coco y polvo de café como modificadores en masa no convencionales, los electrodos formados a partir de estos materiales han sido utilizados en la detección y cuantificación de elementos trazas debido a la forma en que es posible cuantificar especies por medio de reacciones electroquímicas [6], [7]. Se ha determinado que los parámetros importantes en la elaboración de EPCM son la estabilidad mecánica y el área superficial [5], debido a esto el principal reto de los EPCM es encontrar la relación grafito-material-agente aglomerante, con el fin de tener las propiedades físicas que permitan estudiar las reacciones electroquímicas.

Para este fin, se elaboraron EPCM en masa con carbón activado obtenido a partir de residuos agroindustriales. Se compararon los EPCM de cáscara de naranja (CAN) y borra de café (CAC), y se investigó el efecto de la proporción de CAN/CAC-grafito-aglomerante con la finalidad de identificar la relación másica que permita una respuesta electroquímica adecuada para futuras aplicaciones en el estudio de la reacción de reducción de oxígeno, debido a que los carbones activados son ampliamente propuestos en la literatura como catalizadores para llevar a cabo la reducción de oxígeno, asociado a la cantidad de grupos funcionales que posee. La implementación de carbones activados agroindustriales es una adecuada alternativa para el aprovechamiento de residuos de tipo orgánico.

2. Metodología

2.1 Preparación de carbones activados

Se prepararon dos tipos de carbón activado, utilizando como precursores residuos agroindustriales; cáscara de naranja y borra de café. El carbón activado de naranja (CAN) y carbón activado de borra de café (CAC) se elaboraron siguiendo la metodología propuesta en trabajos previos del grupo de trabajo [8], [9] bajo las condiciones mencionadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de preparación de carbones activados obtenidos a partir de residuos agroindustriales [8], [9]

Residuo	Agente activante	Temperatura de impregnación (°C)	Temperatura de carbonización (°C)	Tiempo de carbonización
Cáscara de naranja	Ácido fosfórico (H ₃ PO ₄)	95	400	1 h
Borra de café	Ácido fosfórico (H ₃ PO ₄)	Ambiente	450	1 h

2.2 Caracterización física y química de los carbones activados

Las características morfológicas se observaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) utilizando un instrumento Jeol, JSM-6510LV a 15 KeV, acoplado a un detector Buker XFlash6110 para el análisis de la composición superficial elemental mediante espectroscopía dispersiva de rayos-X (EDS). Los grupos funcionales se identificaron mediante espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) utilizando un instrumento Thermo Nicolet Nexus FTIR. Las descripciones detalladas de las técnicas y métodos utilizados están disponibles en trabajos previos elaborados por Tovar et al., 2019 y Robles et al., 2020 [8], [9].

2.3 Elaboración de electrodos de pasta de carbono

Se elaboraron dos tipos de EPCM, utilizando como material compósito CAN y CAC. La relación másica utilizada fue 60:40, 65:35 y 70:30 (carbón total: aglomerante), para cada una de las relaciones másicas los electrodos fueron modificados con un porcentaje de carbón activado agroindustrial de 30 %, 35 %, 40 %, 45 %, 50 %, 55 % respectivamente para cada tipo de electrodo. Los EPCM se prepararon mezclando homogéneamente los diferentes porcentajes de CAN, CAC y aceite de silicona (-Si (CH₃)₂O-)n marca SIGMA-ALDRICH, como agente aglutinante (AA). Después de la homogeneización, la pasta de carbono modificada se empaquetó en el cuerpo de una jeringa de 10 mL sin aguja, el contacto eléctrico se estableció con una varilla de cobre. La superficie de los electrodos se renovó en cada experimento, expulsando el borde de la pasta del electrodo. Como comparativo, se preparó la pasta de carbón no modificado (EPC).

2.4 Caracterización electroquímica de los electrodos de pasta de carbono

La caracterización electroquímica se realizó mediante voltamperometría cíclica. Se usó como electrolito soporte HNO₃ 0.1 M y el par redox [Fe (CN)₆]^{3-/4-} 0.001 M como molécula sonda. Los electrodos elaborados fueron empleados como electrodo de trabajo, como electrodo de referencia Ag|AgCl (NaCl 3 M) y alambre de platino como contraelectrodo. Se utilizaron diferentes velocidades de barrido (20, 40, 60, 80, 100 mV/s) y se ajustaron las ventanas de potencial para cada tipo de electrodo. Se usó un potenciostato (BioLogic SP-50) para realizar todos los experimentos.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización electroquímica de los electrodos de EPCM

La Figura 1 muestra los voltamperogramas cíclicos del electrodo desnudo como referencia (A), y de los EPCM que mostraron mejor respuesta electroquímica, siendo (B) EPCM CAN con 35 % CAN y 30 % AA; y (C) EPCM CAC con 35 % CAC y 30 % AA. Recordar que el resto del material corresponde a grafito. Coincidentemente, la relación másica de carbón activado agroindustrial que brindó la mejor respuesta electroquímica fue de 35 %. Las señales catódicas (E_c) y anódicas (E_a) del [Fe (CN)₆]^{3-/4-} se muestran en la Tabla 2. La separación de pico catódico y anódico (ΔE) se correlaciona directamente con la cinética de transferencia de electrones. Esto indica que el electrodo desnudo se comporta de una manera más reversible y rápida, en comparación con los electrodos modificados, donde la transferencia de electrones es cuasi-reversible, siendo el electrodo modificado con CAN el más resistivo (287 mV). Se observa que los valores de ΔE son menores respecto a otros electrodos modificados que reportan valores de ΔE entre 300 mV y 500 mV [6].

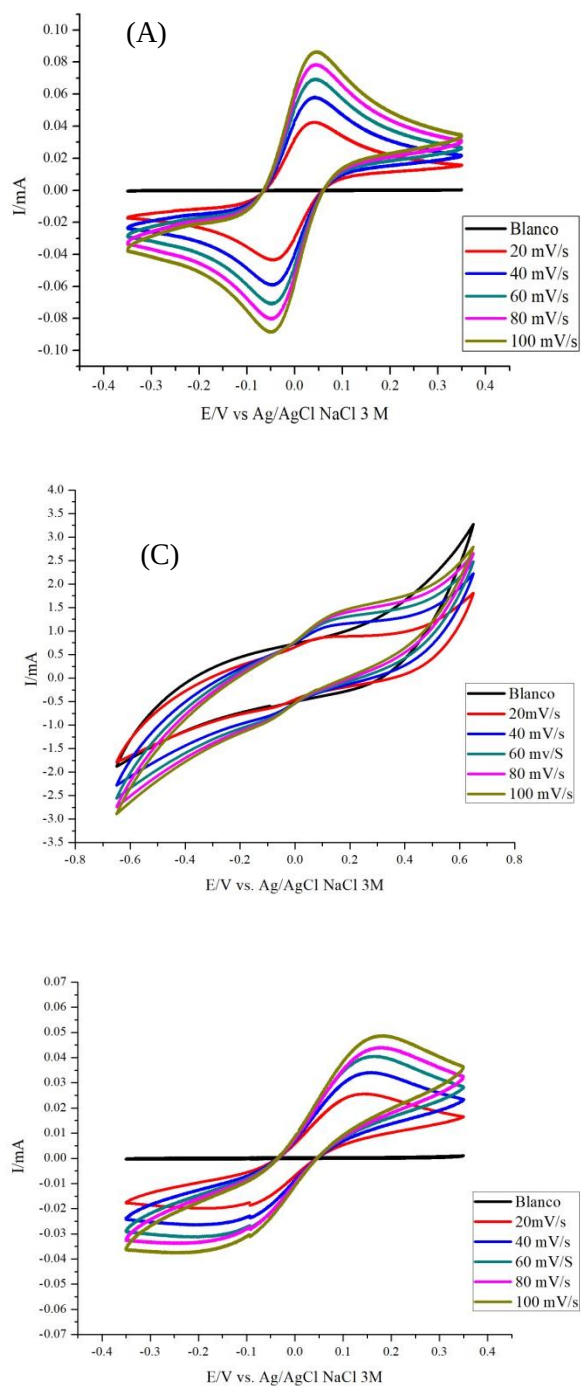


Figura 1. Voltamperograma cíclico de los diferentes electrodos en 0.001 M de $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ en 0.1 M HNO_3 ; (A) EPC (B) EPCM CAN (C) EPCM CAC, velocidades de barrido de 20, 40, 60, 80, 100 mV/s

Con la información de los voltamperogramas se realizó el cálculo del área electroactiva mediante la fórmula de Randles Sëvcik, los resultados se muestran en la Tabla 2. En la literatura se han reportado

áreas con valores de 4.6×10^{-2} , 7×10^{-2} y 1.1×10^{-3} cm² [10]. Los electrodos obtenidos en este estudio presentan áreas electroactivas en el mismo orden de magnitud.

Tabla 2. Señales anódicas y catódicas del $[Fe(CN)_6]^{3-/4-}$ de los EPC y EPCM

Electrodo	E _a (V)	E _c (V)	ΔE	I _a (mA)	Área electroactiva (cm ²)
EPC	0.039	-0.044	0.083	0.047	4.24×10^{-4}
EPCM CAN	0.1488	-0.1595	0.287	0.02	1.18×10^{-2}
EPCM CAC	0.090	-0.065	0.156	0.18	7.10×10^{-3}

Respecto a la corriente de pico anódica (I_a), se comparó a velocidad de barrido de 20 mV/s de los electrodos con mejor respuesta electroquímica. En la Figura 2 se observa que el electrodo modificado con CAC muestra un aumento de corriente alrededor de 0.18 mA en comparación con el electrodo sin modificar, lo cual indica que la presencia de carbón activado de borra de café es benéfica para la elaboración de electrodos, ya que mejora la conductividad, debido a las propiedades del material.

La presencia de CAN ocasiona la disminución de corriente de pico, sin embargo, esto no representa un efecto negativo, ya que la disminución de la corriente es de alrededor de 0.02 mA. Esto se atribuye al tamaño de partícula que presenta el CAN, comparado al EPC que presenta una corriente de pico de 0.047 mA.

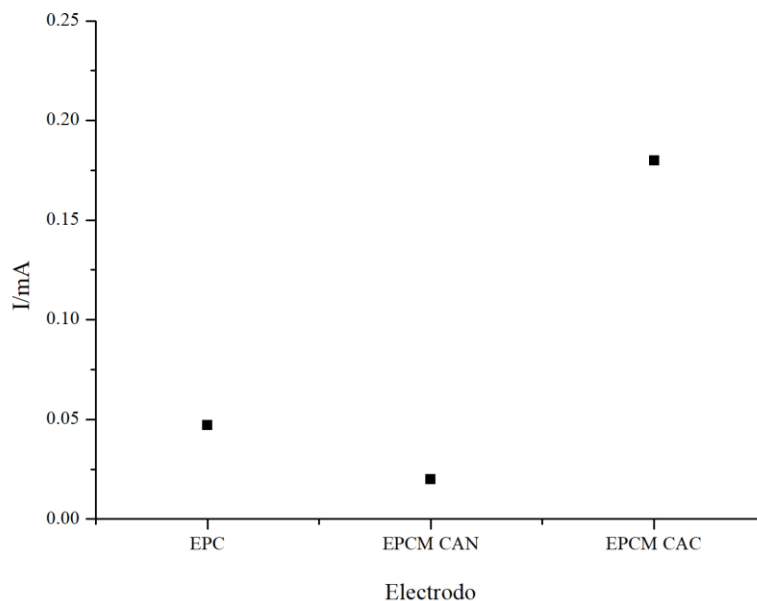


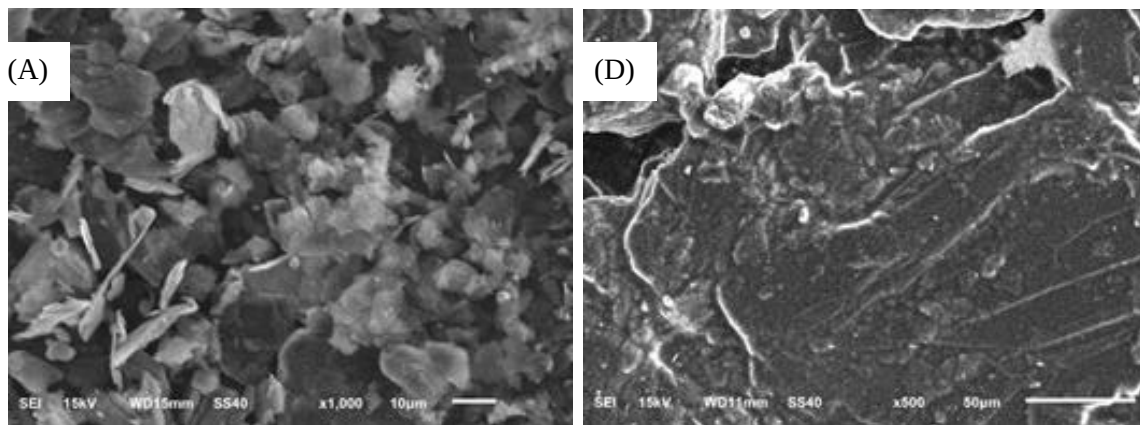
Figura 2. Corrientes anódicas en miliamperes de los EPCM con mejor respuesta electroquímica

El electrodo que mostró mejor respuesta electroquímica es el EPCM modificado con carbón activado de borra de café, mismo que actualmente se utiliza para estudiar la reacción de reducción de oxígeno. Lu et al., (2018) mencionan que “los materiales basados en carbón han mostrado una gran promesa como alternativa catalítica para la síntesis electroquímica de H₂O₂, ya que son abundantes en la Tierra y electroquímicamente estables bajo condiciones de reacción” [11].

3.2 Caracterización morfológica y constituyentes químicos de los electrodos de pasta de carbono con mejor respuesta electroquímica

Las imágenes de SEM del electrodo no modificado (ver Figura 3. D) y electrodos modificados con CAN (ver Figura 3. E) y CAC (ver Figura 3. F) se presentan en la Figura 3. La estructura de las superficies de los electrodos con mejor respuesta electroquímica (ver Figura 3. D, E y F) muestra que las partículas de los materiales carbonoso con la que fueron elaborados están cubiertas por una película delgada de aglomerante, el carácter estructural general de las pastas de carbono es muy diferente a la del material carbonoso solo (ver Figura 3. A, B y C). La estructura superficial de los EPCM (ver Figura 3. E y F) difiere completamente del no modificado (ver Figura 3. D). El electrodo EPCM CAN se caracteriza por la formación de agregados voluminosos (ver Figura 3. E) y formaciones más rugosas, lo que indica un recubrimiento más aglomerado de las partículas, en contraste con el electrodo EPCM CAC que presenta una superficie más homogénea y ordenada con aglomerados de menos porosidades, resultando una superficie relativamente lisa en comparación con la superficie rugosa del electrodo EPCM CAN, lo cual también resulta distinguible cuando se observan las superficies solamente con el ojo. El grafito al tener un tamaño menor en comparación con CAN y CAC funge como conector entre todas las partículas de los materiales del carbono y el aglomerante hace una especie de “pegado” en todas ellas. Se ha reportado en la literatura que algunos fenómenos observados con mediciones voltamperométricas como resistencia capacitiva o pasivación del electrodo pueden explicarse simplemente por la calidad de la superficie del electrodo [12].

El análisis elemental reveló que las pastas están constituidas mayormente por carbono y oxígeno. Lo que es benéfico ya que las propiedades asociadas a el carbón es la conductividad eléctrica, lo cual indica que entre más contenido de carbono tenga la pasta, mayor conductividad eléctrica presentará el electrodo. El electrodo EPCM CAC tiene mayor cantidad de carbono con 58.93 % en peso (ver Tabla 3), lo cual se ve reflejado en la evaluación electroquímica, siendo este el electrodo con más conductividad eléctrica. En cuanto al oxígeno la presencia de este benéfico para las posteriores etapas de la experimentación. I. Švancara *et al.*, (1999) señala que tener presente contenido de oxígeno en los electrodos los hace utilizables en reducciones catódicas [12].



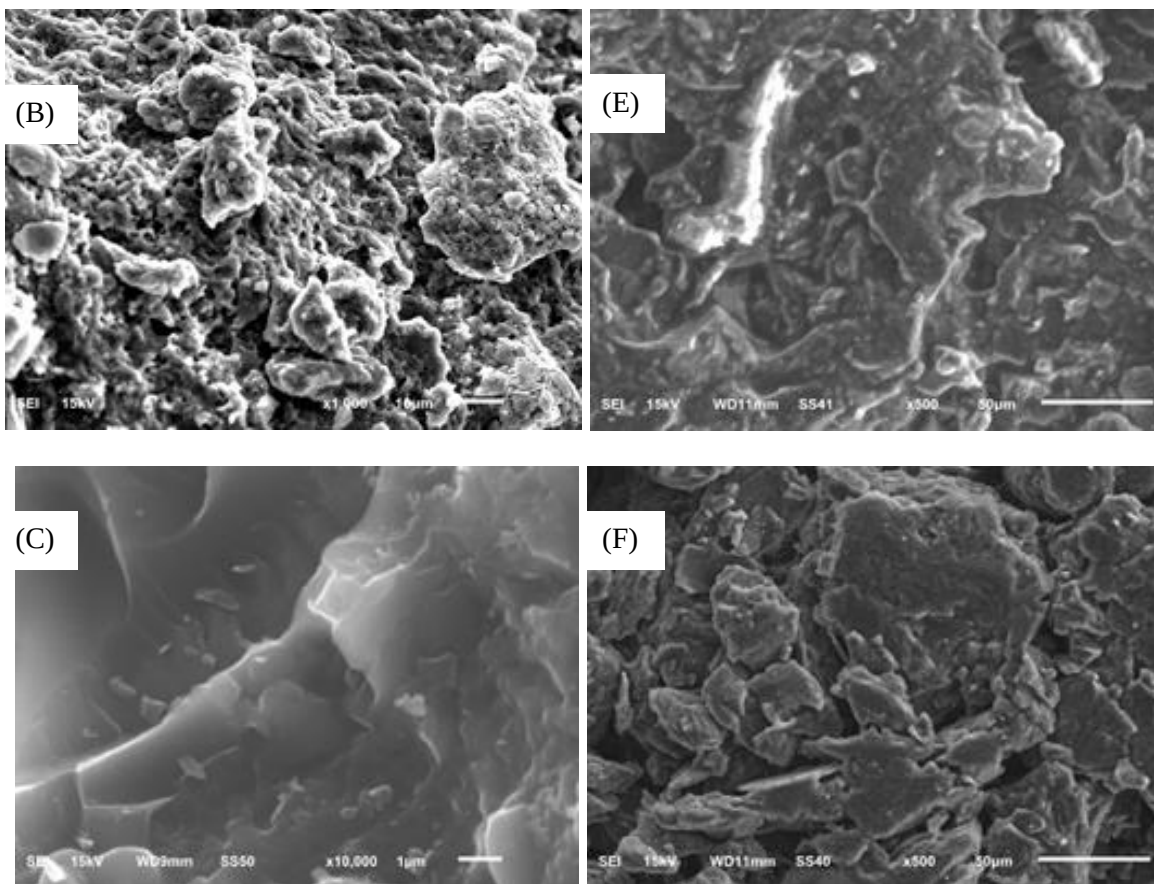


Figura 3. Imágenes de microscopia electrónica de barrido de (A) Polvo de grafito (B) CAN (C) CAC (D) EPC (E) EPCM CAN (F) EPCM CAC

Tabla 3. Cantidad de carbono % en peso constituyente en los electrodos de pasta

Elemento	EPC	EPCM CAN	EPCM CAC
	Peso %		
C	58.39	49.56	58.93
O	16.62	16.21	17.48

4. Conclusiones

Se ha demostrado que los electrodos de pasta modificados con residuos agroindustriales representan una adecuada alternativa para estudiar reacciones electroquímicas de interés. Por los resultados obtenidos, se observa que estos materiales presentan un área de oportunidad en este campo.

El uso de técnicas electroquímicas como lo es voltamperometría cíclica en conjunto con las caracterizaciones microscópicas, han permitido determinar las características de la superficie de los electrodos. La relación óptima carbón-aglomerante para la preparación de electrodos es de 70:30 debido a que presenta mejor comportamiento en cuanto a consistencia de la pasta, respuesta electroquímica y corrientes de picos catódicos y anódicos. Los electrodos propuestos para posteriores experimentaciones son los conformados por 35 % de carbón activado y 35 % de grafito para ambos materiales carbonosos

(CAN y CAC), lo cual representa una conformación de carbón total del electrodo 50:50 y la corriente de este electrodo se encuentra dos puntos antes de la caída de corriente en comparación con los demás electrodos en ambos casos.

Por otro lado, el aumento del % de CAN y CAC en el electrodo de pasta de carbono superior al 45 % tuvo un efecto negativo en la respuesta electroquímica; los picos de oxidación y reducción no aparecieron en estos experimentos.

Actualmente se está estudiando la reacción de reducción de oxígeno en los electrodos seleccionados, ya que son adecuados para llevar a cabo este estudio debido a que el carbón activado con el cual fueron modificados contiene grupos funcionales oxigenados que ayudan a promover dicha reacción.

En comparación con los EPCM utilizados convencionalmente, los electrodos de pasta de carbón modificados con carbones activados obtenidos a partir de residuos agroindustriales presentan un enfoque ecológico en las perspectivas ambientales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CIDETEQ por las facilidades, también agradecen el financiamiento otorgado por el Proyecto 285309, Ciencia Básica, CONACYT CB-2016-01. Ana Karen Ortiz Martínez agradece al CONACYT por la beca de maestría No. 735641.

Referencias Bibliográficas

- [1] Mejías-Brizuela, N., Orozco-Guillen, E., Hernández N. (2016) Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2, 27–41.
- [2] Barragan, B., Tellez-Díaz, A., Laguna-Trinidad, A. (2008) Utilización de residuos agroindustriales. *Revista Sistemas Ambientales*, 2, 44–50.
- [3] Vidal, M., Suarez, A., Barrios, K., Pérez, J. (2018) Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Scientia et Technica*, 23, 411–419. doi:10.22517/23447214.17031.
- [4] Svancara I., Kotzian, P., Bartos, M., Vytras, K. (2005) Groove electrodes: A new alternative of using carbon pastes in electroanalysis. *Electrochemistry communications*, 7, 657–662. doi:10.1016/j.elecom.2005.04.017.
- [5] Cummings, E., Eggins, R. (1998) Amperometric carbon paste biosensor based on plant tissue for the determination of total flavanol content in beers. *Analyst*, 123, 1975–1980. doi:10.1039/a804021d.
- [6] Estrada-Aldrete, J., Hernández-López, M., García-León, M., Peralta-Hernández, J., Cerino-Córdova, J. (2019) Electroanalytical determination of heavy metals in aqueous solutions by using a carbon paste electrode modified with spent coffee grounds. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 857. doi: 10.1016/j.jelechem.2019.113663.
- [7] Teixeira, M., Felix, F., Thomasi, S., Magriotis, Z., Silva, S., Okumura, L., Saczk, A. (2019) Voltammetric determination of organic nitrogen compounds in environmental samples using carbon paste electrode modified with activated carbon. *Microchemical Journal*, 148, 66–72. doi:10.1016/j.microc.2019.04.038.
- [8] Tovar, K., Godínez, A., Espejel, F., Ramírez-Zamora, M., Robles, I. (2019) Optimization of the integral valorization process for orange peel waste using a design of experiments approach: Production of

high-quality pectin and activated carbon. *Waste Management*, 85, 202–213. doi:10.1016/j.wasman.2018.12.029.

[9] Robles, I., Espejel-Ayala, F., Velasco, G., Cárdenas, A., Godínez, L. (2020) A statistical approach to study the valorization process of spent coffee ground. *Biomass Conversion and Biorefinery*, En Prensa. doi: 10.1007/s13399-020-00854-3.

[10] Ju, H., Liu, S., Ge, B., Lisdat, F., Scheller, W. (2002) Electrochemistry of cytochrome c immobilized on colloidal gold modified carbon paste electrodes and its electrocatalytic activity. *Electroanalysis*, 14, 141–147. doi: 10.1002/1521-4109(200201)14:2<141::AID-ELAN141>3.0.CO;2-Y.

[11] Lu, Z., Chen, G., Siahrostami, S., Chen, Z., Liu, K., Xie, J., Liao, L., Wu, T., Lin, D., Liu, Y., Jaramillo, F., Norskov, J., Cui, Y. (2018) High-efficiency oxygen reduction to hydrogen peroxide catalysed by oxidized carbon materials. *Nature Catalysis*, 1, 156–162. doi: 10.1038/s41929-017-0017-x.

[12] Švancara, I., Hvizdalová, M., Vytřas, K., Kalcher, K., Novotný, R. (1996) A microscopic study on carbon paste electrodes. *Electroanalysis*, 8, 61–65. doi: 10.1002/elan.1140080113.

Proceso de coagulación-floculación con mucílago de *Opuntia ficus-indica* para tratar lixiviados maduros

¹Alfredo Martínez-Cruz, ¹María Neftalí Rojas-Valencia, ²Georgina Fernández-Villagómez

¹ Instituto de Ingeniería de la UNAM, Circuito Escolar, Ingeniería S/N, C.U., CP. 04510 Ciudad de México, (55) 56233600 x 8663, e-mail: alfredomartinezunam@comunidad.unam.mx.

² Facultad de Ingeniería de la UNAM, Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, CP 04510, (55) 56 22 30 03.

Resumen

Debido a la compleja composición de los lixiviados y a su poder contaminante en suelos, aguas superficiales y subterráneas, es necesario que cuenten con un tratamiento adecuado. Surge la necesidad de buscar métodos alternativos y sustentables, que aprovechen residuos orgánicos. Es por ello por lo que se propone el tratamiento de lixiviados estabilizados del relleno sanitario Bordo Poniente (RSBP) (IB 0.01, DQO 2.1 g L⁻¹) mediante el proceso de coagulación-floculación usando mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) (MN). Se evaluaron tres métodos de extracción de MN (escaldado, crudo y cocido) sin encontrar diferencia estadísticamente significativa en relación con la cantidad generada (p 0.21). Se caracterizaron los mucílagos generados en cada método de extracción, encontrándose que el MN con mayor contenido de carbohidratos fue el escaldado (p 0.001). Mediante un diseño experimental factorial se evaluó el efecto de las variables usando MN y FeCl₃. Las condiciones óptimas para la adición de MN fueron: pH 6.0, dosis coagulante 1.0 g L⁻¹ y dosis floculante 3.0 g L⁻¹ con remoción máxima DQO de 70.3%; y usando FeCl₃ fueron pH 6.0, FeCl₃ 3.0 g L⁻¹ y dosis floculante 0.1 g L⁻¹, remoción máxima DQO de 68.5%. El MN en el proceso de coagulación-floculación, es una medida técnica viable, aplicable al tratamiento de lixiviados maduros provenientes de la etapa III del RSBP. La alternativa del uso de nopal desarrollada en la presente investigación es una opción de valorización de las pencas que, en la mayoría de los casos, los productores las consideran un desperdicio.

Palabras Clave: coagulante orgánico natural, mucilago de nopal, remoción de DQO, tratamiento de lixiviados estabilizados.

1. Introducción

En el 2016, el mundo generó aproximadamente 2 mil millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) y se espera que este número crezca a 3.4 mil millones en 2025 [1]. En México se generan, en promedio, 1.16 kg de RSU por persona al día, esto es 53.1 millones de toneladas al año [2]. Esta gran cantidad de RSU indica que su gestión y disposición final es un tema complejo en el que es necesario tomar medidas urgentes de control [1]. El crecimiento demográfico, la modificación de las actividades productivas y el incremento de la demanda de los servicios han rebasado la capacidad del ambiente para asimilar la cantidad de RSU generados por la población, lo que hace necesario contar con sistemas de manejo integral. El almacenamiento de RSU en rellenos sanitarios (RS), que cumplen con la normatividad, ha permitido un gran avance en la protección del ambiente; no obstante, en ellos continuamente son generados dos grandes subproductos: la fase líquida, representada por los lixiviados y la fase gaseosa, representada por biogás. Los lixiviados presentan concentraciones muy altas de contaminantes, lo que dificulta su tratamiento mediante métodos convencionales [3].

A medida que aumenta la edad de un RS aumenta la presencia de compuestos recalcitrantes o bio-refractarios [4]. Los lixiviados se pueden clasificar en tres categorías: jóvenes (edad < 5 años, pH < 6.5, IB entre 0.5 y 1.0), intermedios (edad entre 5 y 10 años, pH entre 6.5 y 7.5, IB entre 0.1 y 0.5) y estabilizados (edad > 10 años, pH > 7.5, IB < 0.1) [5]. Debido a la compleja composición de los lixiviados y a su elevado

poder contaminante en suelos, en aguas superficiales y subterráneas, es necesario que se cuente con un tratamiento adecuado [6]. Los métodos empleados para este fin son en su mayoría fisicoquímicos (precipitación química, adsorción con carbón activado, oxidación o reducción química, intercambio iónico, membranas, stripping -inyección de aire- y oxidación húmeda) y biológicos (aeróbicos y anaeróbicos) [5] - [7]. Ninguno de estos métodos ha sido completamente eficiente [8], por lo que se ha visto la necesidad de buscar métodos alternativos, novedosos y sustentables, que además de tratar a los lixiviados, logren aprovechar residuos orgánicos generados en gran cantidad y que habitualmente no tienen ningún tipo de aprovechamiento. En la Ciudad de México existe una gran producción de nopal, principalmente en la Delegación Milpa Alta, en la cual se encuentra establecido el denominado “Centro de Acopio del Nopal”, en el que se congrega el mayor número de productores. Aquino (2009) estima que en el mencionado establecimiento se generan diariamente cuatro toneladas de residuos de nopal, de las cuales tan solo dos toneladas se aprovechan en la elaboración de composta, desechándose el resto, sin una oportunidad alguna de aprovechamiento adicional [9].

El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar la alternativa de usar el mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) (MN) para el tratamiento de lixiviados estabilizados originados del relleno sanitario Bordo Poniente (RSBP), ubicado en la Ciudad de México (longitud: 99° 00′ 14.5″ oeste, latitud: 19° 26′ 09″ norte). Se caracterizaron los lixiviados del RSBP para poder clasificarlos. Se determinó el mejor proceso de extracción de MN, valorando su rendimiento de extracción y su composición. Mediante un diseño experimental factorial se determinaron los valores óptimos de las variables del proceso de coagulación-floculación usando el MN (pH y dosis de coagulante). Además, se realizó una comparación con un método tradicional de coagulación, usando FeCl_3 como coagulante.

2. Metodología

2.1 Descripción del área de estudio

Los lixiviados que se usaron en esta investigación se obtuvieron del RSBP etapa III. El RSBP se encuentra en la Zona Federal de lo que fuera el Lago de Texcoco, colinda al poniente con el Periférico Oriente, al oriente con el Dren General del Valle de México, al norte con el Río de los Remedios y al sur con el brazo derecho del Río Churubusco.

2.2. Muestreo de Lixiviados y su caracterización

Se realizó la colecta de lixiviados del cárcamo 8 tomando como base la Norma Oficial Mexicana vigente para aguas residuales NMX-AA-003-1980 [10], adaptada a lixiviados. Se tomaron las recomendaciones de preservación de la muestra a 4 °C, así como el uso de recipientes de polietileno. Las muestras de lixiviados fueron caracterizadas con los siguientes parámetros: pH, DBO_5 , DQO, color (CLR) siguiendo métodos estandarizados [11].

2.3. Extracción del mucílago de nopal

Para extraer el MN se usaron pencas de nopal (*Opuntia ficus-indica*), proveniente de la Delegación Milpa Alta, Ciudad de México, adquiridas en el establecimiento denominado “Centro de Acopio del Nopal”. Se seleccionaron pencas de por lo menos tres meses para realizar la extracción del MN, ya que estas pencas tienen un grosor mayor que las pencas que se comercializan normalmente. Este mayor grosor facilitó las etapas de pelado y limpieza en los procedimientos de extracción. Los procedimientos de extracción se realizaron en tres lotes de pencas de nopal, cada lote fue cosechado de la misma parcela, pero en fechas diferentes. A partir de datos obtenidos por investigaciones previas [12] - [14] se propusieron tres diferentes procesos de extracción de MN, llamados “escaldado”, “crudo” y “cocido”. En la Figura 1 se incluye un diagrama de bloques de cada proceso de extracción.

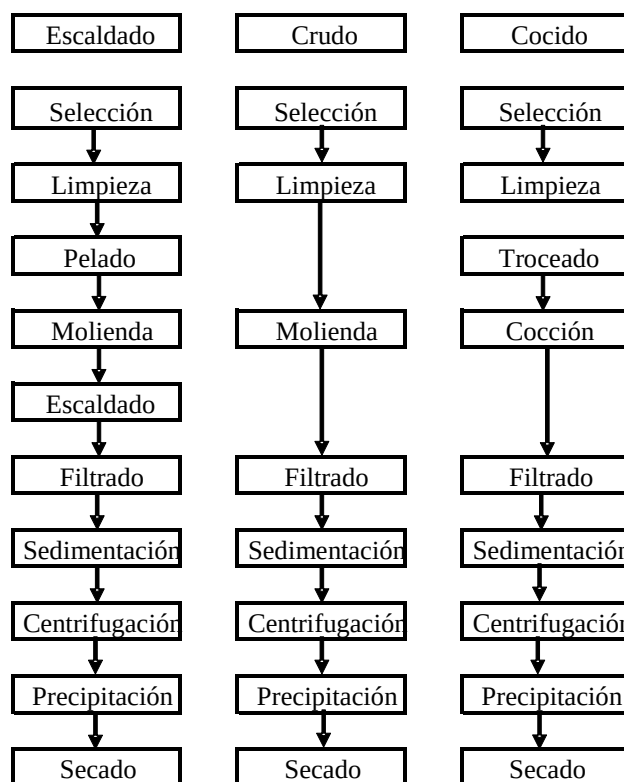


Figura 1. Diagrama de bloques de los procesos de extracción de mucílago de nopal utilizados en esta investigación

2.4. Caracterización del mucílago de nopal

Considerando que el MN tiene capacidades coagulantes iguales o mejores que productos sintéticos diseñados para tal fin [15] - [16] y que es un polímero orgánico natural formado por diferentes carbohidratos, a los que pueden asociarse su capacidad coagulante [17], fue importante establecer cuál de los procedimientos de extracción evaluados fue el que generó un MN con mayor contenido de carbohidratos, y por lo tanto mayor poder coagulante. Se usó la metodología propuesta por FAO (2012) [18] y AOAC (1990) [19], determinándose el contenido de carbohidratos con la Ecuación (1). En la Tabla 1 se describen las determinaciones que se realizaron para la caracterización del MN.

$$\%CH=100- (A+B+C+D+E) \quad (1)$$

Donde:

CH: Carbohidratos (%).

A: Contenido de humedad (%).

B: Contenido de proteína cruda (%).

C: Contenido de lípidos crudos (%).

D: Contenido de fibra cruda (%).

E: Contenido de ceniza (%).

Tabla 1. Determinaciones usadas en esta investigación en la caracterización del mucílago de nopal

Determinación	Principio
Humedad	Medición de la pérdida de masa debido a la evaporación de agua (70 °C, 12 horas).
Proteínas	Método Kjeldahl, mismo que evalúa el contenido de nitrógeno total en la muestra después de ser digerida con H ₂ SO ₄ en presencia de un catalizador de selenio.
Lípidos	Extracción con éter etílico, evaluando como porcentaje de masa después de evaporar el solvente.
Fibra	Digestión con soluciones de H ₂ SO ₄ 0.255 N y NaOH 0.313 N, calcinando el residuo. La diferencia de masa después de la calcinación indicó la cantidad de fibra.
Cenizas	Método de calcinación (550 °C, 12 horas), medición de la pérdida de masa.

2.5. Coagulación-floculación del lixiviado usando mucílago de nopal

Se evaluó el efecto de un coagulante orgánico natural: MN en el tratamiento de lixiviados mediante la prueba de jarras usando 0.5 L de lixiviado. En base a pruebas preliminares de experimentación se observó que el uso de MN inicialmente generaba muy poca coagulación. Lorenzo-Acosta (2016) afirma que para aumentar el material en suspensión se puede agregar arcilla, lo que favorece la floculación [20]. Laines et al. (2008) afirman que las arcillas son adsorbentes que pueden utilizarse para ayudar en la coagulación de aguas que contengan color intenso o baja turbiedad y proporciona material suspendido adicional para formar flóculos [21]. Se decidió usar bentonita para favorecer el proceso de coagulación-floculación. El procedimiento de experimentación fue el siguiente: homogenización de la muestra por cinco minutos con agitación a 250 rpm; adición del floculante a 250 rpm; mezclado (1 minuto); adición del floculante a 250 rpm; coagulación-floculación (1 min a 250 rpm, 20 minutos a 20 rpm) y sedimentación (30 minutos). Se tomó una muestra del sobrenadante para las determinaciones analíticas.

Las concentraciones para evaluar dosis del MN y de la bentonita se determinaron mediante pruebas experimentales. Se usó un diseño de experimentos factorial, considerando tres variables independientes: pH, dosis del coagulante (MN) y dosis del floculante (bentonita). El pH tuvo dos valores a evaluar y en el caso de las dosis del coagulante y floculante se usaron tres valores para cada variable (Tabla 2). Se realizaron 18 experimentos, con tres repeticiones cada uno de ellos. Se consideró como variable respuesta la remoción de DQO.

Con los datos generados fue posible optimizar los valores de pH, coagulante y floculante para la mayor remoción de DQO. El análisis de varianza (ANOVA) se usó para el análisis estadístico de los datos obteniendo la interacción entre las variables y las respuestas. Se ajustó un modelo polinomial y se obtuvo el coeficiente de determinación R. Los términos del modelo se evaluaron por el valor probabilidad (p) con un nivel de confianza (α) del 95%.

Tabla 2. Valores propuestos de variables dependientes en el proceso de coagulación usando mucílago de nopal.

X ₁			X ₃		
pH			Dosis floculante (g L ⁻¹)		
Valor nominal	6.0	7.0	1.0	2.0	3.0
Valor codificado	-1	+1	-1	0	+1
X ₂					
Dosis coagulante (g L ⁻¹)					
Valor nominal	0.50	0.75	1.00		
Valor codificado	-1	0	+1		

Coagulante: Mucílago de nopal. Floculante: Bentonita.

2.6. Coagulación-floculación del lixiviados usando cloruro férrico

Partiendo de investigaciones previas que afirman que la materia orgánica recalcitrante presente en los lixiviados es removida con mayor facilidad por sales de hierro que por sales de aluminio [22] - [24], se decidió usar como coagulante inorgánico FeCl_3 grado analítico (marca Meyer). Como floculante se usó la poliacrilamida FLOERGER FO 4800SSH. Se evaluó el efecto de un coagulante químico: FeCl_3 en el tratamiento de lixiviados mediante la prueba de jarras usando 0.5 L de lixiviado. El procedimiento de experimentación fue el siguiente: homogenización de la muestra a 250 rpm (5 minutos), adición de coagulante a 250 rpm, coagulación 1 minuto a 250 rpm, adición de floculante a 250 rpm, floculación a 250 rpm (40 segundos) y 30 rpm (20 minutos) y sedimentación por 30 minutos. Se tomó una muestra del sobrenadante para las determinaciones. Las concentraciones para evaluar el FeCl_3 y del floculante se fijaron partiendo de las investigaciones previas [25] - [27] y por pruebas preliminares.

Se usó un diseño de experimentos factorial, considerando tres variables independientes: pH, dosis del coagulante (FeCl_3) y floculante. El pH tuvo dos valores a evaluar y en el caso de las dosis del coagulante y floculante se usaron tres valores para cada variable (Tabla 3). Se realizaron 18 experimentos, con tres repeticiones cada uno de ellos. Se consideró como variable respuesta la remoción de DQO. El análisis estadístico de los datos fue similar al caso del MN para obtener la interacción entre variables y el ajuste polinomial.

Tabla 3. Valores propuestos de variables dependientes en el proceso de coagulación usando FeCl_3

X_1			X_3		
pH			Dosis floculante (g L^{-1})		
Valor nominal	6.0	7.0	0.10	0.15	0.20
Valor codificado	-1	+1	-1	0	+1
X_2					
Dosis coagulante (g L^{-1})					
Valor nominal	1.4	2.2	3.0		
Valor codificado	-1	0	+1		

Coagulante: FeCl_3 . Floculante: poliacrilamida.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización de lixiviados

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización de los lixiviados que se extrajeron del RSBP. Los resultados muestran un pH promedio de 8.9, superior a las 7 unidades y un IB promedio de 0.02, lo que indica que el lixiviado es del tipo maduro [5], situación que era de esperar debido a que los residuos llevan más de 10 años en el RS. El valor del IB tan bajo recomienda las opciones de métodos fisicoquímicos para su tratamiento.

Tabla 4. Resultados de la caracterización de los lixiviados usados en el presente trabajo

Parámetro	Unidad	M1	M2	M3	Promedio $\pm$ DE
DQO	g L ⁻¹	2.200	2.025	2.105	2.11 $\pm$ 0.087
DBO ₅	g L ⁻¹	0.0350	0.0345	0.0349	0.0348.0 $\pm$ 0.002
IB		0.02	0.02	0.01	0.02 $\pm$ 0.001
CLR	U Pt Co	4200.0	4050.0	4080.0	4110.0 $\pm$ 79.4
pH		8.9	8.7	9.1	8.9 $\pm$ 0.2

IB: Índice de biodegradabilidad. TRB: Turbidez. CLR: Color. UNT: Unidades nefelométricas de turbidez. U Pt Co: Unidades de color platino-cobalto. M1, M2 y M3: Muestras de lixiviados. DE: Desviación estándar.

3.2. Extracción y caracterización del mucílago de nopal

Al desarrollar los procedimientos de extracción de MN se obtuvieron en cada uno de ellos un producto seco de color blanco, que adquiriría una tonalidad marrón oscura al estar en contacto con el aire, por lo que se decidió almacenar el producto en bolsas plásticas herméticas para evitar su deterioro. En la Tabla 5 se muestran los resultados de extracción del MN para los tres procedimientos utilizados. Los datos promedio de generación de MN (por cada 10 kg de nopal usado) y sus desviaciones estándar fueron: 72.4 $\pm$ 5.06 g, 75.56 $\pm$ 4.76 g y 94.06 $\pm$ 23.29 g; para el procedimiento de escaldado, crudo y cocido, respectivamente. La generación del MN, en porcentaje promedio, fue 0.72, 0.75 y 0.94%; valores inferiores al obtenido por Sáenz y Sepúlveda (1993) [28], 1.2%, situación atribuible al diferente origen de los nopales usados en las investigaciones. En el caso de Sáenz y Sepúlveda (1993) usaron nopales de Chile [28], mientras que esta investigación usó nopales de México.

Tabla 5. Resultados y rendimientos en los procedimientos usados para la extracción de mucílago de nopal

Procedimiento 1. Escaldado		
Etapas	Resultado	Rendimiento
Pelado	Pencas sin cutícula	5.63 kg 5.80 kg 5.47 kg
Molienda y escaldado	Solución de agua y mucílago	5.63 L 5.70 L 5.32 L
Centrifugación, precipitación y secado	Mucílago	70.65 g 78.14 g 68.41 g
Procedimiento 2. Crudo		
Etapas	Resultado	Rendimiento
Molienda	Solución de agua y mucílago	14.85 L 14.91 L 14.98 L

Centrifugación, precipitación y secado	Mucílago	70.15 g 77.39 g 79.14 g
Procedimiento 3. Cocido		
Etapas	Resultado	Rendimiento
Troceado y cocción	Solución con agua y mucílago	12.82 L 11.02 L 10.45 L
Centrifugación, precipitación y secado	Mucílago	120.96 g 80.12 g 81.12 g

Mucílago: Mucílago de nopal *Opuntia ficus*. Resultados partiendo de 10 kg de nopal crudo. Se realizaron tres repeticiones por proceso de extracción.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), con intervalo de confianza de 95%, a la cantidad de MN obtenido en los procedimientos evaluados para poder establecer si existía diferencia significativa entre ellos. Ya que el valor obtenido de p fue mayor que el nivel de significancia (0.05) se estableció que no existía diferencia significativa en los procedimientos evaluados, en relación con la cantidad de MN obtenido ($p=0.21>0.05$).

En la Tabla 6 se incluyen los promedios del contenido de carbohidratos para cada procedimiento. Los resultados fueron 32.4 ± 1.2 %, 25.4 ± 0.8 %, 26.8 ± 1.3 %; para escaldado, crudo y cocido, respectivamente. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), con intervalo de confianza de 95%, al porcentaje de carbohidratos obtenido en los tres procedimientos de extracción. Se estableció que existió diferencia significativa en el procedimiento de escaldado ($p=0.001<0.05$), siendo éste el procedimiento que obtuvo mayor contenido de carbohidratos. Se decidió usar este procedimiento para extraer el MN que se usó en el proceso de coagulación-floculación de los lixiviados.

Tabla 6. Contenido de carbohidratos en los mucílagos de nopal extraídos

Procedimiento	M1	M2	M3	Promedio $\pm$ DE
Escaldado	32.3	31.6	33.9	32.4 ± 1.2
Crudo	26.1	25.6	24.5	25.4 ± 0.8
Cocido	28.3	26.1	26	26.8 ± 1.3

M1, M2 y M3: Muestras de nopales.

3.3. Coagulación-floculación del lixiviado usando mucílago de nopal

Del análisis estadístico de los datos generados se determinaron las variables significativas estadísticamente de acuerdo con el valor de p (probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula) de cada una de ellas. En la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos, identificando como términos significativos estadísticamente: constante, bentonita, pH*bentonita y coagulante*bentonita ($p<0.05$) (para acceso a resultados a detalle de las corridas experimentales consultar Martínez-Cruz (2017) [29]).

Tabla 7. Resultados del análisis de variables usando mucílago de nopal como coagulante

Término	p Valor
Constante	0.000
pH	0.910
Coagulante	0.534
Bentonita	0.000
Bentonita*Bentonita	VEE
pH*Bentonita	0.000
pH*Coagulante	VEE
Coagulante*Bentonita	0.002

Datos expresados en Valor p: Probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula. VEE: Variable eliminada estadísticamente al ser no significativa en el modelo. Fuente: Minitab 17.

El modelo estadístico que describe los datos generados en la experimentación fue:

% Remoción DQO = $-8.2 + 11.50 \text{ pH} - 21.69 \text{ Coagulante (g L}^{-1}\text{)} + 35.19 \text{ Bentonita (g L}^{-1}\text{)} - 5.81 \text{ pH*Bentonita (g L}^{-1}\text{)} + 10.06 \text{ Coagulante (g L}^{-1}\text{)} * \text{Bentonita (g L}^{-1}\text{)}$; con un R^2 (coeficiente de determinación) de 0.874. El valor obtenido de R^2 es considerado señal de un buen ajuste al ser mayor a 0.8 [30]. Las condiciones óptimas que usaron MN fueron: pH 6.0, dosis coagulante 1.0 g L⁻¹, dosis floculante 3.0 g L⁻¹, remoción máxima DQO de 70.3%.

3.4. Coagulación-floculación del lixiviado usando FeCl3

Del análisis estadístico de los datos generados se determinaron las variables significativas estadísticamente de acuerdo con el valor de p de cada una de ellas. En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos, identificando como términos significativos estadísticamente: constante, pH, coagulante, floculante*floculante y pH*floculante ($p < 0.05$) (para acceso a resultados a detalle de las corridas experimentales consultar Martínez-Cruz (2017) [29]).

Tabla 8. Resultados del análisis de variables usando FeCl3 como coagulante

Término	p Valor
Constante	0.000
pH	0.000
Coagulante	0.032
Floculante	0.108
Floculante*Floculante	0.003
pH*Floculante	0.000
pH*Coagulante	VEE
Coagulante*Floculante	VEE

Datos expresados en Valor p: Probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula. VEE: Variable eliminada estadísticamente al ser no significativa en el modelo. Fuente: Minitab 17.

El modelo estadístico que describe los datos generados en la experimentación fue:

% Remoción DQO = $323.2 - 37.34 \text{ pH} + 2.022 \text{ Coagulante (g L}^{-1}\text{)} - 1417 \text{ Floculante (g L}^{-1}\text{)} + 1588 \text{ Floculante (g L}^{-1}\text{)} * \text{Floculante (g L}^{-1}\text{)} + 148.4 \text{ pH*Floculante (g L}^{-1}\text{)}$; con un R^2 (coeficiente de

determinación) de 0.855 El valor obtenido de R^2 es considerado señal de un buen ajuste al ser mayor a 0.8 [30]. Las condiciones óptimas usando FeCl_3 fueron pH 6.0, FeCl_3 3.0 g L^{-1} , floculante 0.1 g L^{-1} , remoción máxima DQO de 68.5%.

El FeCl_3 en coagulación de lixiviados estabilizados (LE) ha tenido buenos resultados en otras investigaciones. Tatzi et al. (2003) trataron LE (DQO=5.3 g L^{-1} , IB=0.19, pH=7.9) usando 2 g L^{-1} de FeCl_3 , removiendo 80% de DQO [31]. Tatsi et al. (2003) trataron LE (IB=0.19, DQO=5.3 g L^{-1} , pH=7.9) usando 2 g L^{-1} de FeCl_3 , removiendo 80% de DQO [22]. Los valores obtenidos en este trabajo fueron: FeCl_3 = 3.0 g L^{-1} , floculante -poliacrilamida-=0.1 g L^{-1} , remoción máxima DQO=68.5%. Estas diferencias pueden ser explicadas por la variabilidad en la composición de los lixiviados y por las condiciones específicas en el tratamiento de coagulación en cada investigación.

Conviene resaltar los resultados obtenidos en la dosificación de coagulante para la remoción máxima de DQO usando el coagulante orgánico natural y el coagulante inorgánico. Usando una dosificación de una tercera parte (1.0 g L^{-1}), en comparación al FeCl_3 (3.0 g L^{-1}), el uso de MN lograría una remoción de DQO de 70.3%, superior a la lograda usando FeCl_3 (68.5%). Sumado a lo anterior debe de considerarse el origen 100% natural del MN, a diferencia del FeCl_3 .

4. Conclusiones

El uso del MN de *Opuntia ficus-indica* en el proceso de coagulación-floculación, es una medida técnicamente viable aplicable al tratamiento de lixiviados maduros provenientes de la etapa III del RSBP. La alternativa de utilización de nopal desarrollada en la presente investigación es una opción de valorización de las pencas de nopal que, en la mayoría de los casos, los productores las consideran un desperdicio, debido a su gran grosor, lo que las hace poco comerciales.

Los tres procedimientos evaluados de extracción de MN, en relación con la cantidad obtenida, no resultaron ser significativamente diferentes entre sí. La extracción de MN por el procedimiento de escaldado, en relación con el contenido de carbohidratos, resultó ser significativamente diferente en comparación a los otros dos métodos evaluados, obteniéndose a través de este procedimiento el mayor porcentaje de carbohidratos, y por lo tanto mayor poder coagulante.

En relación con los factores evaluados en las pruebas de jarras es posible afirmar que:

La dosis de los coagulantes (FeCl_3 y MN) tuvieron una influencia significativa en el porcentaje de remoción de DQO. En el caso del coagulante inorgánico (FeCl_3) fue una influencia directa y en el caso del coagulante orgánico (MN) fue una influencia de interacción con el floculante (bentonita). El pH tuvo una mayor influencia en la remoción de DQO en el caso del FeCl_3 , con el MN prácticamente no existió dependencia. En relación con la dosis del floculante, la poliacrilamida no tuvo un efecto significativo en la remoción de DQO usando FeCl_3 , mientras que en el caso del MN la dosis de la bentonita tuvo una influencia directa en la remoción de DQO. La adición de bentonita tuvo influencias de interacción con el pH y la dosis del coagulante.

Referencias Bibliograficas

- [1] Silpa K., Lisa Y., Perinaz B.-T. y Frank, V. W. (2018). *What a waste 2.0: A global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Word Bank Group. Washington D. C. En línea < <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>>. Recuperado el 1/06/2020.
- [2] SEMARNAT. (2018). *Informe de la situación del medio ambiente en México: compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde* Edición 2015. SEMARNAT. Ciudad de México. Recuperado el 20/06/2020. En línea < https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Informe2018GMX_web.pdf>

- [3] Luna, Y., Otal, E., Vilches, L.F., Vale, J., Querol, X. y Fernández Pereira, C. (2007). Use of zeolitized coal fly ash for landfill leachate treatment: A pilot plant study. *Waste Management*. 27, 1877–1883. doi: 10.1016/j.wasman.2006.10.016
- [4] Mandal, P., Dubey, B. K., y Gupta, A. K. (2017). Review on landfill leachate treatment by electrochemical oxidation: Drawbacks, challenges, and future scope. *Waste Management*, 69, 250–273. doi: 10.1016/j.wasman.2017.08.034.
- [5] Foo, K. Y., y Hameed, B. H. (2009). An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process. *Journal of Hazardous Materials*, 176, 54–60. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.06.038.
- [6] Poblete, R., Cortes, E., Bakit, J., y Luna-Galiano, Y. (2019). Landfill leachate treatment using combined fish scales based activated carbon and solar advanced oxidation processes. *Process Safety and Environmental Protection*, 123, 253–262. doi: 10.1016/j.psep.2019.01.017.
- [7] Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., y Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.077.
- [8] Li, Zhou, S. Qi, Sun, Y. Bo, Feng, P. y Li, J. D. (2009). Advanced treatment of landfill leachate by a new combination process in a full-scale plant. *Journal of Hazardous Materials*. 172, 408–415. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.034.
- [9] Aquino E. (2015). Reciclaje de residuos de la construcción para la fabricación de ladrillos sustentables. UNAM. Tesis de Maestría. Ciudad de México. En línea: <<http://132.248.9.195/ptd2015/septiembre/0735007/Index.html>>. Recuperado: 12/05/2016.
- [10] DOF (1980). NMX-AA-003-1980. Muestreo de Aguas Residuales. Diario Oficial de La Federación. En línea: < <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166762/NMX-AA-003-1980.pdf>>. Recuperado el 12/02/2019.
- [11] APHA (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Editores: E. Rice, R. Baird, A. Eaton, y L. Clesceri; Edición 22. American Public Health Association. Washington D. C.
- [12] Figueroa, J.J., Domínguez, V.S., Zegbe, J., Alvarado, M.D. y Mena, J. (2011). Extracción y purificación de mucílago de nopal (Extraction and purification of the nopal mucilage). INIFAP, SAGARPA. En línea: <<http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/extMuNopal.pdf>> Recuperado el 10/10/2017.
- [13] Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H.E., Órnelas-Núñez, J.L. y Garnica-Romo, M.G. (2011). Optimización de la extracción del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). XIV Congreso. Nacional de Biotecnología. y Bioingeniería. En línea: <<https://smbb.mx/congresos/smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/III/carteles/CIII-71.pdf>> Recuperado: 10/03/2017.
- [14] Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E. y Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environment*. 68, 534–545. doi: 10.1016/j.jaridenv.2006.08.001
- [15] Carpinteriro, S.L. (2011). Tratamiento de aguas residuales empleando polímeros naturales y biodegradabilidad de lodos generados. IPN. Tesis de Maestría, Ciudad de México.
- [16] Cárdenas, A., Goycoolea, F.M. y Rinaudo, M. (2008). On the gelling behaviour of “nopal” (*Opuntia ficus indica*) low methoxyl pectin. *Carbohydrate Polymers*. 73, 212–222. doi: 10.1016/j.carbpol.2007.11.017.
- [17] Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H.E., Órnelas-Núñez, J.L. y Garnica-Romo, M.G. (2011). Optimización de la extracción del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). XIV Congreso. Nacional de Biotecnología. y Bioingeniería. En línea: <<https://smbb.mx/congresos/smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/III/carteles/CIII-71.pdf>>. Recuperado: 22/12/2016.

- [18] FAO (2012). Manual de Técnicas para Laboratorio de Nutrición. Departamento de Pesca. Organismo. las Naciones. Unidas para la Alimentación. y la Agricultura. En línea: <<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab489s/ab489s03.htm>>. Recuperado: 12/06/2017.
- [19] AOAC (1990) AOAC: Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Inc. Edición 15. Arlington, Virginia.
- [20] Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación (State of the art of water treatment by coagulation-flocculation). ICIDCA. Instituto. Cubano de. Investigación. los Derivados. la Caña Azúcar, XL, 10–17.
- [21] Laines, J.R., Jorge Alberto Goñi, J.A., Adams, R. y Camacho, W. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario (Mixtures with Coagulant Potential for Treatment of Leachate from a Sanitary Landfill). *Interciencia* 33, 22–28.
- [22] Tatsi, A.A., Zouboulis, A.I., Matis, K.A. y Samaras, P. (2003). Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere* 53, 737–744. doi: 10.1016/S0045-6535(03)00513-7.
- [23] Rivas, F.J., Beltrán, F., Carvalho, F., Acedo, B., y Gimeno, O. (2004). Stabilized leachates: sequential coagulation–flocculation + chemical oxidation process. *Journal of Hazardous. Materials*. 116, 95–102. doi: 10.1016/j.jhazmat.2004.07.022.
- [24] Ntampou, X., Zouboulis, A.I. y Samaras, P. (2006). Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/ flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates. *Chemosphere* 62, 722–730. doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.04.067.
- [25] Nájera, H.A., Castañón, J., Figueroa, J. y Rojas-Valencia, M.N. (2009). Caracterización y Tratamiento Físico-Químico de Lixiviados Maduros Producidos en el Sitio de Disposición Final de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Simposio. Iberoamericano de Ingeniería. En línea: <http://www.uninorte.co/divisiones/Ingenierias/IDS/upload/File/Memorias_II-SIIR/3g-Njera-Mxico-001.pdf> . Recuperado: 23/05/2017.
- [26] Nájera, H., Vázquez-Sánchez, R., Gutiérrez, R., Bello, R. y Rojas-Valencia, M.N. (2011). Physicochemical Treatment (Coagulation-Flocculation-Fenton) of Mature Leachates from Tuxtla Gutierrez, Chiapas Landfill. *Sustainable Environmental. Research*, 21(5), 313-319. En línea: <<http://hdl.handle.net/10092/9133>>. Recuperado: 03/03/2017.
- [27] Lozano-Rivas, W.A. (2012). Uso de Extracto de Figue (*Furcraea* sp.) como Coadyuvante de Coagulación en Tratamientos de Lixiviados. *Revista Int.Contaminación Ambiental*, 28(3), 219-227.
- [28] Sáenz y Sepúlveda (1993) Alternativas de Industrialización de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*). *Alimentos* 68, 29–32.
- [29] Martínez-Cruz, A. (2017) Método alternativo para tratar lixiviados maduros mediante el proceso de coagulación-floculación con mucílago de *Opuntia ficus-indica*. (UNAM, 2017). Tesis de Maestría. Ciudad de México. En línea: <<http://132.248.9.195/ptd2017/octubre/0766872/Index.html>>.
- [30] Moradi, M. y Ghanbari, F. (2014). Application of response surface method for coagulation process in leachate treatment as pretreatment for Fenton process: Biodegradability improvement. *Journal of Water Process Engineering*. 4, 67–73. doi: 10.1016/j.jwpe.2014.09.002.
- [31] Tatsi, A.A., Zouboulis, A.I., Matis, K.A. y Samaras, P. (2003). Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere* 53, 737–744. doi: 10.1016/S0045-6535(03)00513-7.

Tratamiento de lixiviados del extiradero Bordo de Xochiaca usando un biofiltro con residuos estabilizados evaluando recirculación e inóculo

¹Alfredo Martínez-Cruz, ¹Deyanira Jovita Gutiérrez Hernández, ¹María Neftalí Rojas-Valencia

¹ Instituto de Ingeniería de la UNAM, Circuito Escolar, Ingeniería S/N, C.U., CP. 04510 Ciudad de México, (55) 56233600 x 8663, e-mail: alfredomartinezunam@comunidad.unam.mx.

Resumen

En México se generan 53.1 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) al año. La alternativa más usada para la disposición final de RSU son los rellenos sanitarios (RS). Cuando el agua de lluvia se infiltra en los RSU los contaminantes se extraen a la fase líquida, formando aguas residuales altamente contaminadas, conocidas como lixiviados. Los lixiviados son causa de importantes problemas ambientales en suelo y agua, por lo que deben recibir un tratamiento adecuado. Un enfoque novedoso para tratar lixiviados es el uso de residuos extraídos de RS, conocidos como residuos envejecidos o estabilizados, para usarse como empaque en biorreactores. El objetivo de esta investigación fue evaluar un sistema de tratamiento de lixiviados en un biorreactor con residuos envejecidos, considerando la recirculación de lixiviados y la adición de rumen sintético como inóculo. Se usaron lixiviados y residuos estabilizados originados del ex tiradero Ciudad Jardín Bicentenario, conocido como *Bordo de Xochiaca*, ubicado en el oriente del Estado de México (DQO $2.175 \pm 0.66 \text{ g L}^{-1}$, IB 0.17 ± 0.01). Se realizó la caracterización de los residuos estabilizados. Se probaron cuatro biorreactores a nivel laboratorio mediante un diseño experimental factorial. La recirculación de lixiviado inoculado inóculo a una temperatura de 35 °C logró remociones de DQO de $67.2 \pm 8.8\%$, en comparación al biorreactor que no tuvo recirculación, ni inóculo, que removió $17.4 \pm 7.7\%$. Se demostró que la adición de inóculo y la recirculación favorecen el funcionamiento de biofiltros con residuos envejecidos aplicados en lixiviados estabilizados.

91

Palabras Clave: *Biofiltro, DQO, lixiviados, residuos estabilizados, rumen.*

1. Introducción

En el 2016, el mundo generó aproximadamente 2 mil millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) y se espera que este número crezca a 3.4 mil millones en 2025 [1]. En México se generan, en promedio, 1.16 kg de RSU por persona al día, esto es 53.1 millones de toneladas al año [2]. Esta gran cantidad de RSU indica que su gestión y disposición final es un tema complejo en el que es necesario tomar medidas urgentes de control [1]. En México existen 2203 sitios oficiales de disposición final de RSU -entre tiraderos a cielo abierto, basureros municipales, sitios de reciclaje y/o compostaje, y rellenos sanitarios (RS)-, siendo la alternativa más usada los RS [2]. Cuando el agua de lluvia se infiltra a través de los RSU en un RS los contaminantes se extraen a la fase líquida, formando aguas residuales altamente contaminadas, conocidas como lixiviados [3]. Los lixiviados son causa de importantes problemas ambientales relacionados con la contaminación del suelo y agua; y por tal motivo los lixiviados deben recibir un tratamiento adecuado antes de su eliminación [4].

A medida que aumenta la edad de un RS las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO) disminuyen. Otra consecuencia inevitable es la disminución del índice de biodegradabilidad (razón entre la DBO₅ y DQO, IB), que indica presencia de compuestos recalcitrantes o bio-refractarios [5]. Los lixiviados se pueden clasificar en tres categorías: jóvenes (edad < 5 años, pH < 6.5, IB entre 0.5 y 1.0), intermedios (edad entre 5 y 10 años, pH entre 6.5 y 7.5, IB entre 0.1 y 0.5) y estabilizados (edad > 10 años, pH > 7.5, IB < 0.1) [6].

Se han utilizado diferentes alternativas en el tratamiento de lixiviados: biodegradación (tanto técnicas aerobias como anaerobias), procesos de membrana, coagulación/floculación, precipitación química, adsorción y procesos de oxidación avanzada (POA) [7]. En México, los lixiviados han sido tratados principalmente por evaporación y recirculación [8]; sin embargo, estos métodos no son aconsejables debido a la emisión de compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera [9]. Se ha propuesto [10] que dependiendo de las características de los lixiviados es conveniente explorar alternativas de tratamiento diferentes a las opciones biológicas convencionales y a los métodos fisicoquímicos clásicos para poder mejorar las condiciones de los efluentes y reducir así los efectos negativos al ambiente.

Un enfoque novedoso para el tratamiento de lixiviados estabilizados (LE) consiste en el uso de RSU extraídos de RS después de más de 8 años de ser depositados en el sitio. Este material, llamado residuos estabilizados (RE), se usa como empaque en biorreactores [8] - [11]. Recientemente, el biorreactor de residuos estabilizados (BRE) ha recibido una atención creciente para reducir la materia orgánica del LE debido al bajo consumo de energía, la fácil operación, el mantenimiento simple, el bajo costo y la alta eficiencia del tratamiento [12]. Usando esta tecnología innovadora varios grupos de investigación han reportado eficiencias de eliminación significativas en carbono orgánico disuelto (COD), BOD₅, nitrógeno total (NT) y nitrógeno amoniacal (NH₃-N) en rangos de 53-97, 95-98, 49-95, 67-99%, respectivamente [13] - [16]. Las altas eficiencias en la eliminación de contaminantes mostradas por el sistema BRE se atribuyen principalmente a la gran actividad microbiana que existe en los RE [17] - [18]. La existencia de grandes y diversas poblaciones de microorganismos que se han aclimatado a altas concentraciones de contaminantes a lo largo de los años ha resultado en una gran capacidad para degradar la materia orgánica refractaria [10] - [13]. La DQO del efluente del BRE seguramente disminuye el valor de IB, por lo que la mayor parte de la DQO se atribuye a sustancias orgánicas no degradables, lo que requiere métodos de tratamiento adicionales [13], como los procesos electroquímicos.

El objetivo de esta investigación fue evaluar un sistema de tratamiento de LE del extiradero *Bordo de Xochiaca* en un BRE, considerando la recirculación de lixiviados y la adición de rumen como inóculo. Se evaluó la efectividad del proceso mediante la remoción de la materia orgánica, medida como DQO.

2. Metodología

2.1. Descripción del área de estudio

Los LE y los RE se obtuvieron de un RS, el ex tiradero Ciudad Jardín Bicentenario, conocido como *Bordo de Xochiaca*, localizado en el Municipio de Nezahualcóyotl, en la región oriente del Estado de México (longitud: 19.4°N, latitud: 99.01°O a 2235 msnm). La precipitación anual promedio de la zona es de 46.7 mm y la temperatura promedio anual es de 16.3 °C.

2.2. Extracción y caracterización del material estabilizado

Para la extracción del RE se tomó como referencia la Norma Mexicana NMX-AA-15-1995-Muestreo-Método de cuarteo [19], acondicionando el punto de la toma de muestra mediante la perforación de la cubierta de la celda (edad de 9 años). La muestra se tomó a una profundidad de 2 metros (Figura 1). Se tomaron alrededor de 60 kg de muestra final, depositándola en costales sellados herméticamente para transportarlos al laboratorio. Del material extraído, 1 kg fue caracterizada en base húmeda, determinando la composición de los materiales (plásticos, vidrio, tela, fierro y madera). El RE fue extendido sobre lona a la sombra y a temperatura ambiente durante 4 semanas, con el objeto de retirar la humedad y facilitar su manejo. En el secado el RE fue caracterizado semanalmente determinando el contenido de humedad y sólidos volátiles. Una vez seco, el material se separó por tamaño de partícula usando un tamiz, retirando la fracción mayor 50 mm. Considerando investigaciones previas usando BRE en lixiviados [10] - [18] se decidió usar la fracción mayor a 50 mm para el relleno de los BRE.



Figura 1. Muestreo de los residuos envejecidos en el relleno sanitario

Para la caracterización del RE se utilizaron las técnicas analíticas siguiendo los métodos normalizados [20]. Se determinó humedad y en la fracción húmeda se determinaron sólidos totales, sólidos volátiles y contenido de materia orgánica. La determinación de contenido de materia orgánica se realizó considerando la norma española UNE-103204-93 [21]. Se realizaron las determinaciones analíticas por triplicado.

2.3. Muestreo de lixiviados y su caracterización

Se realizó la colecta de lixiviados del cárcamo principal, tomando como base la Norma Mexicana para aguas residuales NMX-AA-003-1980 [22], adaptándola a lixiviados (Figura 2). Se tomaron las recomendaciones de preservación de la muestra a 4 °C, así como el uso de recipientes de polietileno. Las muestras de lixiviados fueron caracterizadas con los siguientes parámetros: pH, DBO₅, DQO, alcalinidad, color (CLR), NH₃-N, Cl⁻, Na⁺ y SO₄⁻², siguiendo métodos estandarizados [20]. Se realizaron las determinaciones analíticas por triplicado.



Figura 2. Proceso de muestreo de lixiviados estabilizados

2.4. Conteo de microorganismos en el residuo estabilizado, influentes y efluentes

Para el conteo de las bacterias heterótrofas se usó agar nutritivo y posteriormente medios selectivos (Agar sangre y agar Mac Conkey) y se realizó la tinción de Gram. Para la identificación de bacterias se tomó en

cuenta las características físicas y apariencia morfológica, así como el conteo de las colonias presentes en el medio de cultivo, considerando métodos normalizados [20]. Se realizaron las determinaciones analíticas por triplicado.

2.5. Construcción de los biofiltros

Se construyeron cuatro biofiltros (BRE) con tubería de plástico PVC con diámetro de 15 cm y altura de 65 cm, empacados con 3.0 kg de mezcla de RE (Figura 3). Partiendo de investigaciones anteriores [10] - [18] se optó por colocar los biofiltros en una habitación sellada con control de temperatura a 35 °C para favorecer la degradación de los lixiviados.

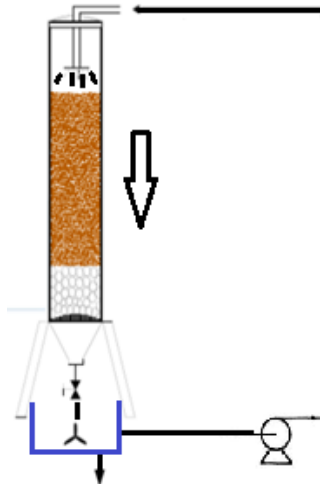


Figura 3. Esquema de los biorreactores de residuos estabilizados

2.6. Operación de los biorreactores de residuos estabilizados

Los BRE fueron operados por un periodo de 16 semanas a 35°C, con cargas hidráulicas de LE de 16.0 L m⁻³ d⁻¹. Las condiciones específicas de trabajo de cada BRE fueron las siguientes:

- BR1.- Reactor sin inóculo y sin recirculación de lixiviados (se alimentó el volumen de lixiviado manteniendo la carga hidráulica (CH) a 16.0 L m⁻³ d⁻¹).
- BR2.- Reactor sin inóculo y con recirculación de lixiviados (se recirculó el 50% de los lixiviados generados como efluente, ajustando el flujo de alimentación manteniendo la CH a 16.0 L m⁻³ d⁻¹).
- BR3.- Reactor con inóculo y con recirculación de lixiviados (se agregó inóculo al lixiviado al 5% volumen; se recirculó el 50% de los lixiviados generados como efluente, ajustando el flujo de alimentación manteniendo la CH a 16.0 L m⁻³ d⁻¹).
- BR4.- Reactor con inóculo y sin recirculación de lixiviados (se agregó inóculo al lixiviado al 5% volumen; se alimentó el volumen de lixiviado manteniendo la CH a 16.0 L m⁻³ d⁻¹).

Partiendo de investigaciones previas [12] - [18] se optó por establecer una CH de 16.0 L m⁻³ d⁻¹, buscando favorecer el proceso de biodegradación. Los cuatro biofiltros se alimentaron en un tiempo al día (de lunes a viernes, cinco veces por semana) con una duración de 15 minutos, de acuerdo con el volumen correspondiente a la CH (16.0 L m⁻³ d⁻¹), ajustando la alimentación a las condiciones de cada biofiltro (con/sin inóculo, con/sin recirculación). La relación volumétrica inóculo/lixiviado se estableció en 5%, considerando que relaciones mayores a 10% podrían desestabilizar los procesos biológicos [23]. Considerando que el rumen sintético contiene microorganismos esenciales para el proceso de digestión anaerobia [24] se optó por agregarlo como inóculo, buscando favorecer precisamente la etapa anaerobia en

el BRE. Se usó rumen sintético en polvo (Navetsa ®). Se determinó la DQO en los efluentes de cada biofiltro evaluando la eficiencia del BRE mediante el % de remoción de DQO usando la Ecuación (1).

$$\% \text{ remocion} = \frac{DQO_i - DQO_f}{DQO_i} 100 \quad (1)$$

Donde: DQO_i es la DQO inicial, antes de ingresar al biofiltro y DQO_f es la DQO final, a la salida del biofiltro.

2.7. Diseño de experimento y análisis estadístico

Se usó un diseño factorial 2² con dos variables y dos factores con base a la matriz de experimentos propuesta en la Tabla 1. Se usó el análisis de varianza estadístico ANOVA para determinar las diferencias entre tratamientos. Se realizaron tres repeticiones en cada muestreo para cada efluente generado.

Tabla 4. Matriz de experimentos realizados

Bioreactor	X ₁	X ₂
BR1	No	No
BR2	No	Si
BR3	Si	Si
BR4	Si	No

Variables: X₁=Inóculo, X₂=Recirculación del lixiviado.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización del residuo estabilizado

Los RE presentaban olor fuerte al ser extraídos, posteriormente con el paso de los días, éste dejó de ser percibido. La Tabla 2 muestra los resultados que se obtuvieron al realizar la separación e identificación de los subproductos en el RE. Se observó que parte del residuo orgánico ya se encontraba degradado, aunque existe una fracción fina que puede ser aprovechada (≤ 50 mm). Se encontró que un 76% de material tuvo un tamaño de partícula ≤ 50 mm. El contenido de materia orgánica en esta fracción fina (≤ 50 mm) resultó ser de 3.27%, valor esperado para un residuo estabilizado [8].

Tabla 5. Composición y distribución de tamaño de partícula en el residuo estabilizado

Subproducto	Plástico	Vidrio	Metal	Trapo	Fracción fina	Otros	Total
Porcentaje en masa	9.0	2.0	1.0	2.0	76.0	10.0	100

Por otro lado, en la Figura 4 se muestra el contenido inicial de humedad de los RE. En el primer día la humedad fue de 24%, valor justificado al considerar que los RE estuvieron en contacto con agua de lluvia y con la recirculación en el RS. 25 días después de que los RE fueron secados la humedad disminuyó al 12%. La cantidad de sólidos totales en los RE a lo largo de las 4 semanas fue de 964.0 a 953.0 g L⁻¹, lo que representa un 90%, manteniéndose durante las cuatro semanas constante. En el caso de los sólidos volátiles totales estos tuvieron una concentración inicial de 169.0 g L⁻¹ y con las cuatro semanas de secado su concentración disminuyó a 36.0 g L⁻¹, en términos de porcentaje indica que disminuyeron del 20 al 5%.

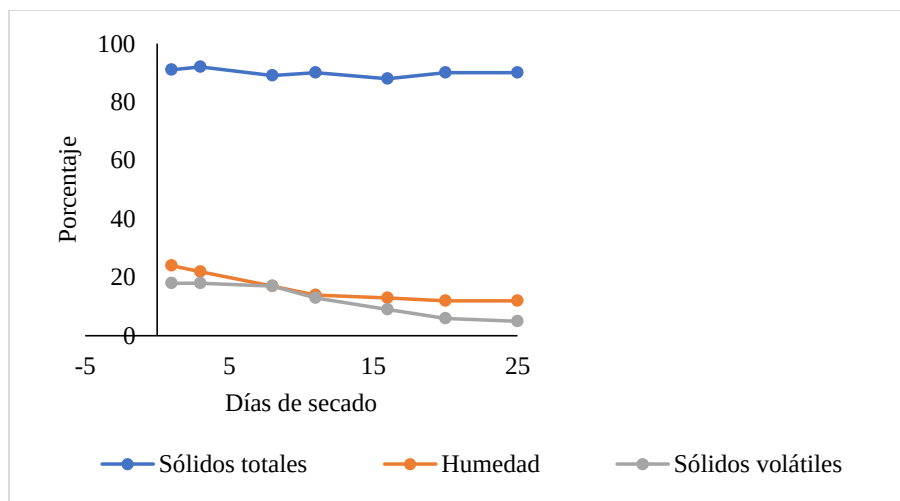


Figura 4. Humedad y solidos totales y volátiles en los residuos estabilizados durante el proceso de secado

3.2. Caracterización de lixiviados

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización de los lixiviados que se extrajeron del sitio de disposición final clausurado. Los resultados indican un pH superior a las 7 unidades y un IB de 0.17, lo que indica que el lixiviado es del tipo maduro o LE [6]; además, se detectó presencia importante de sales inorgánicas y $\text{NH}_3\text{-N}$, situación esperada en LE [5].

Tabla 6. Caracterización de los lixiviados usados en esta investigación

Parámetro	Unidad	Valores promedio $\pm$ DE
pH		9.11 $\pm$ 0.04
Alcalinidad	g L ⁻¹	7.45 $\pm$ 0.045
Color	U Pt Co	3920.1 $\pm$ 147.3
DQO	g L ⁻¹	2.175 $\pm$ 0.655
DBO ₅	g L ⁻¹	0.377 $\pm$ 0.129
IB		0.17 $\pm$ 0.01
NH ₃ -N	g L ⁻¹	0.329 $\pm$ 0.11
Cl ⁻	g L ⁻¹	0.070 $\pm$ 0.005
Na ⁺	g L ⁻¹	0.0549 $\pm$ 0.005
SO ₄ ⁻²	g L ⁻¹	0.0011 $\pm$ 0.0002

DE: Desviación estándar. IB: Índice de biodegradabilidad. U Pt-Co: Unidades de color platino-cobalto.

3.3. Microorganismos presentes en los residuos estabilizados

En la Tabla 4 se muestran los resultados morfológicos de las bacterias presentes en los residuos estabilizados. De acuerdo con la literatura puede haber presencia de los siguientes géneros: *Alcaligenes*

faecalis, *Burkholderia cepacia*, *Clostridium perfringens*, *Pseudomonas stutzeri*, *Pseudomonas putida* y *Pseudomonas aeruginosa* [8]. Se hicieron pruebas de siembra con lixiviado crudo, lixiviado inoculado y lixiviado a la salida de cada biofiltro. La Figura. 5 se muestra visualmente los resultados de la siembra en agar Macconkey, observándose una mayor presencia de bacterias en el efluente del BR3, en comparación al lixiviados crudo y al lixiviado con inóculo.

Tabla 7. Caracterización de las bacterias aisladas presentes en el residuo estabilizado

Morfología de las colonias	<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Pseudomonas stutzeri</i>
Elevación	Convexa	Cóncava	Crateriforme
Margen	Entero	Ondulado	Rizado
Forma	Circular	Circular	Rizoide
Temperatura	35 °C	35 °C	35 °C
Gram negativo	Gram negativo	Gram negativo	Gram negativo
Características	Bacilos cortos	Bacilos cortos	Bacilos cortos

Fuente: Nájera et al. (2008) [8].

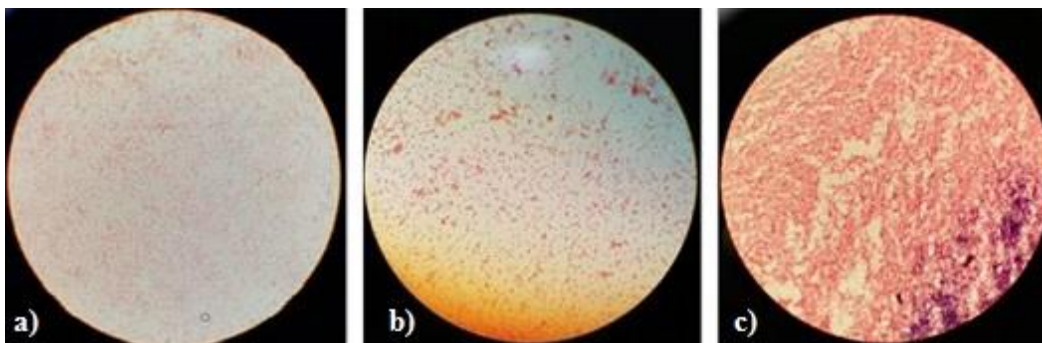


Figura 5. Presencia de bacterias en medios nutritivos (Agar Macconkey). a) lixiviado-rumen, b) lixiviado crudo y c) salida del biofiltro BR3

3.4. Operación de los biofiltros de residuos estabilizados

Como se puede apreciar en las gráficas de la Figura 6 en la alimentación de los biofiltros BR3 y BR4 existió una mayor inestabilidad en los valores de DQO en la operación de las 16 semanas (precisamente los biorreactores en los que se adicionó inóculo), mientras que en los biofiltros en los que no se incluyó inóculo los valores fueron más estables (BR1 y BR2). Esta variabilidad en los valores de DQO pudiera atribuirse a la presencia de inóculo en el lixiviado. Para analizar esta variabilidad en la Tabla 5 se incluyeron los rangos y los valores de DQO a la entrada en los cuatro biofiltros. Aunque BR3 y BR4 mostraron estadísticamente una mayor variación (rangos de 5.0 y 4.5 g L⁻¹, respectivamente) en comparación a BR1 y BR2 (con rangos de 1.5 g L⁻¹ en ambos casos), se observó que los valores de desviación estándar (DE) fueron muy similares para BR1 y BR2 (0.44 y 0.47, respectivamente) con coeficientes de variación (CV) de 19.5 y 21.5 en cada biofiltro. BR3 Y BR4 presentaron DE superiores (1.80 y 1.12, respectivamente) con CV de 42.4 y 21.1%, respectivamente.

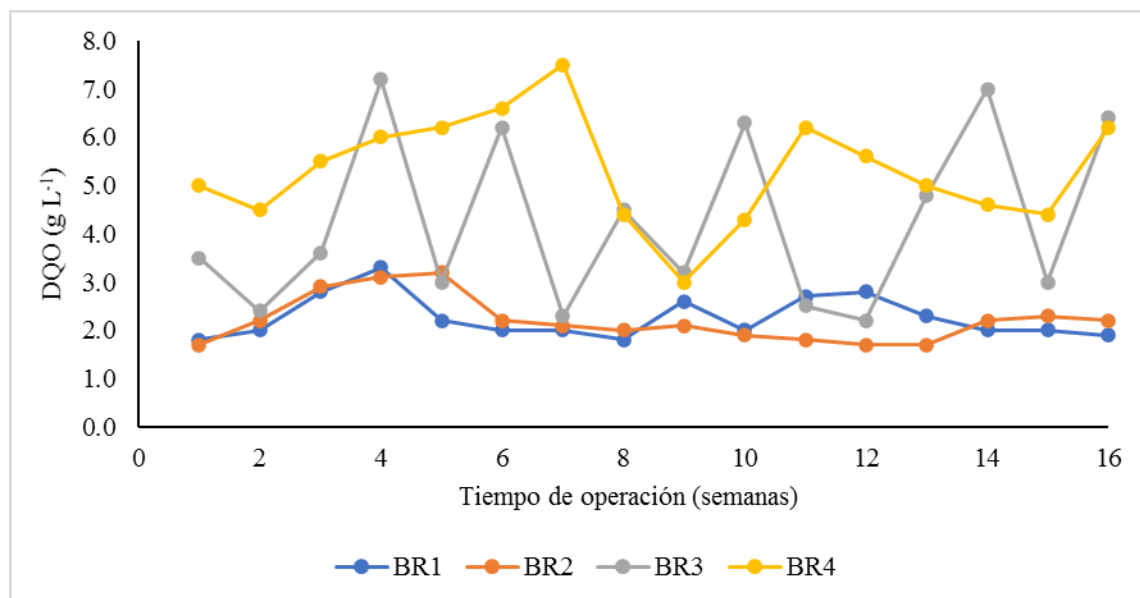


Figura 6. Comportamiento en la entrada de DQO en los cuatro biofiltros

Tabla 5. Resultados de la DQO en la entrada de los biofiltros

Parámetro	Unidad	Biofiltro			
		BR1	BR2	BR3	BR4
DQO (rango)	g L ⁻¹	1.80-3.30	1.70-3.20	2.20-7.20	3.00-7.50
DQO (promedio ± DE)	g L ⁻¹	2.26 ± 0.44	2.21 ± 0.47	4.26 ± 1.80	5.31 ± 1.12

DE: Desviación estándar.

El uso de biofiltros con RE resultó ser una alternativa al uso de biorreactores de tipo filtro por goteo, los cuales usan trozos de roca trituradas, escoria o bien rellenos plásticos [10]. Presumiblemente el RE actuaría como portador de microorganismos para facilitar la degradación de los lixiviados en el biofiltro [8]. En la Figura 7 se muestran las gráficas de los valores de DQO a la salida de cada biofiltro (promedios semanales), mostrándose su comportamiento durante las 16 semanas de operación. Conviene destacar el efecto inicial de alimentación. Al comenzar la alimentación de los influentes en cada biofiltro se observó que durante las primeras horas no se favoreció la degradación, incluso el valor de la DQO aumentó. En BR1 pasó de valores de 1.8 ± 0.2 a 2.0 ± 0.3 g L⁻¹ (aumentó 11.1%), en BR2 pasó de 1.7 ± 0.3 a 1.8 ± 0.4 g L⁻¹ (aumentó 5.8%), en BR3 pasó de 3.5 ± 0.3 a 3.7 ± 0.4 g L⁻¹ (aumentó 5.7%) y en BR4 fue de 5.0 ± 0.4 a 5.2 ± 0.5 g L⁻¹ (aumentó 4.0%). Este aumento de DQO puede ser atribuido a que en esta etapa inicial de alimentación el lixiviado comenzó a saturar la superficie de los RE, e incluso llegó a solubilizar materia orgánica presente en el biofiltro. Pasadas 12 horas de operación los valores de DQO comenzaron a disminuir, indicando que el proceso de biodegradación se vio favorecido.

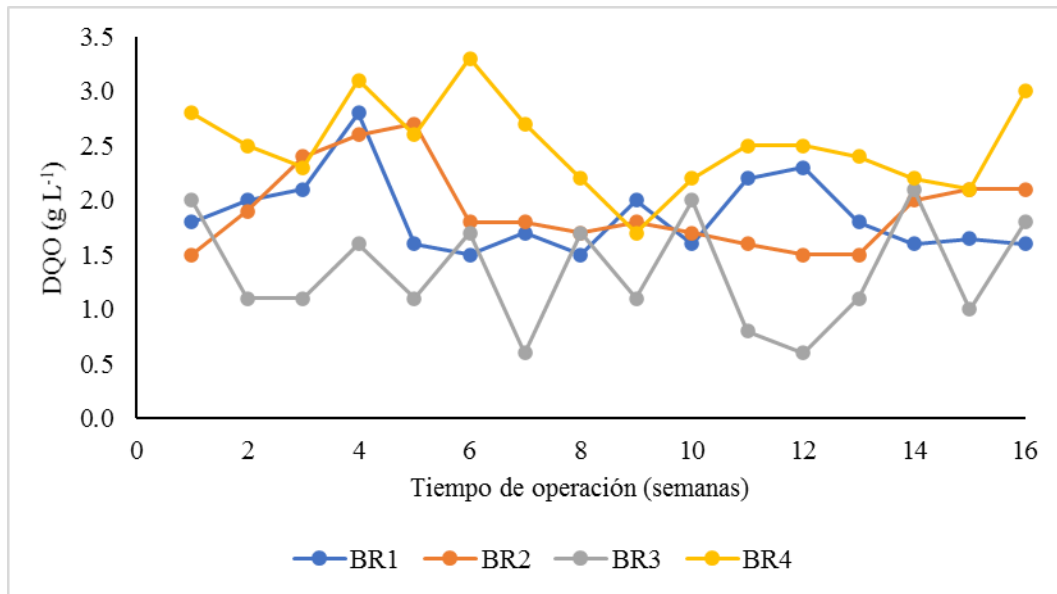


Figura 7. Promedios semanales de DQO en los efluentes de cada biofiltro

La Tabla 6 registra los valores promedio de DQO y % de remoción en los efluentes de cada biofiltro durante el periodo de operación de 16 semanas. En BR1 durante las primeras dos semanas prácticamente no hubo remoción, manteniéndose el valor sin variación. Después de este periodo de estabilización se logró una remoción promedio durante el periodo de operación de 16 semanas de $17.41 \pm 7.7\%$. BR2 logró una remoción desde la primera semana de operación de 11.7% , obteniendo un valor promedio en el periodo de operación de $12.7 \pm 3.5\%$. En BR3 la remoción fue aumentando paulatinamente. En la primera semana fue 42.8% , en la segunda 54.1% y en la tercera fue de 69.4% . Durante el periodo de operación BR3 logró un promedio de $67.2 \pm 8.8\%$. BR4 logró buenas remociones desde la primera semana (44.0%) y durante el periodo de operación alcanzó un promedio de $52.0 \pm 5.9\%$. En la Figura 8 se hace una comparación visual de los LE crudos y los LE tratados en el BRE3 en la semana 16 de operación, resultado evidente la diferencia.

Tabla 6. Valores de DQO en los efluentes y sus % de remoción en cada biofiltro

Parámetro	Unidad	Biofiltro			
		BR1	BR2	BR3	BR4
DQO (promedio $\pm$ DE)	g L^{-1}	2.24 ± 0.64	2.27 ± 0.39	2.01 ± 0.46	2.28 ± 0.23
RDQO (promedio $\pm$ DE)	%	17.4 ± 7.7	12.7 ± 3.5	67.2 ± 8.8	52.0 ± 5.9

DQO y RDQO en valores promedio durante las 16 semanas de operación. RDQO: Remoción de DQO. DE: Desviación estándar.



Figura 8. Comparación visual entre el lixiviado crudo y el lixiviado tratado. a) lixiviado tratado en el bioreactor BR3 y b) lixiviado crudo

Considerando los valores remoción de DQO obtenidos con los datos de la Figura 7 y realizando un ANOVA, con nivel del 95.0% de confianza, es posible afirmar que en BR3 existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de remoción de DQO ($p=0.000<0.05$). De hecho, en este biofiltro se logró la mayor remoción de DQO ($67.2 \pm 8.8\%$). BR3 incluyó la adición de inóculo y recirculación de lixiviados. Este mejor funcionamiento, en comparación a los otros biofiltros, podría atribuirse a que la adición de inóculo favoreció la etapa anaerobia en el biofiltro; además, la recirculación de lixiviados facilitaría un mejor funcionamiento del biorreactor. De esta forma podría considerarse que el mejor funcionamiento del biofiltro BR3 puede ser atribuido tanto a la adición del inóculo como al recirculado de los lixiviados.

100

4. Conclusiones

El consorcio bacteriano presente en los biofiltros tuvo la capacidad de lograr una disminución en el valor de DQO en los efluentes de los biofiltros, favoreciendo la biodegradación de los lixiviados provenientes del extiradero *Bordo de Xochiaca* con una DQO inicial de $2.175 \pm 0.66 \text{ g L}^{-1}$ y un IB de 0.17 ± 0.01 . En cuanto a los microorganismos involucrados en este proceso, considerando la caracterización realizada, se identificó el género *Pseudomonas sp.*, que independientemente de su capacidad para eliminar residuos orgánicos en términos de valores de DQO, tiene un potencial para ser utilizado en el proceso de reducción de $\text{NH}_3\text{-N}$ [8], por lo que se recomienda realizar el seguimiento del $\text{NH}_3\text{-N}$ en la operación de los biofiltros estudiados a fin de complementar la comprensión integral del proceso. Considerando los cultivos realizados y comparando la presencia de bacterias es posible establecer que la adición de inóculo y la recirculación de lixiviados favorecieron la presencia de bacterias en el biofiltro.

La operación de los biofiltros a 35°C favoreció el proceso de biodegradación. El biofiltro que logró la mayor remoción de DQO fue el BR3 ($67.2 \pm 8.8\%$), en el que se agregó rumen sintético como inóculo y se incluyó recirculación de lixiviados. La alternativa de tratamiento de lixiviados estabilizados con biorreactores con residuos envejecidos es una opción con una buena eficiencia, alternativa en la que la adición de rumen sintético como inóculo y la recirculación favorecen el proceso de biodegradación.

Referencias

- [1] Silpa K., Lisa Y., Perinaz B.-T., y Frank V. W. (2018). *What a waste 2.0: A global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Word Bank Group. Washington D. C. En línea < <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>>. Recuperado el 1/06/2020.
- [2] SEMARNAT. (2018). *Informe de la situación del medio ambiente en México: compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde* Edición 2018. SEMARNAT. Ciudad de México. En línea < https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Informe2018GMX_web.pdf>. Recuperado el 20/06/2020.
- [3] Antony, J., Niveditha, S. V., Gandhimathi, R., Ramesh, S. T. y Nidheesh, P. V. (2020). Stabilized landfill leachate treatment by zero valent aluminium-acid system combined with hydrogen peroxide and persulfate based advanced oxidation process. *Waste Management*, 106, 1–11. doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.005.
- [4] Poblete, R., Cortes, E., Bakit, J., y Luna-Galiano, Y. (2019). Landfill leachate treatment using combined fish scales based activated carbon and solar advanced oxidation processes. *Process Safety and Environmental Protection*, 123, 253–262. doi: 10.1016/j.psep.2019.01.017.
- [5] Mandal, P., Dubey, B. K., y Gupta, A. K. (2017). Review on landfill leachate treatment by electrochemical oxidation: Drawbacks, challenges, and future scope. *Waste Management*, 69, 250–273. doi: 10.1016/j.wasman.2017.08.034.
- [6] Foo, K. Y., y Hameed, B. H. (2009). An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process. *Journal of Hazardous Materials*, 176, 54–60. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.06.038.
- [7] Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., y Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.077.
- [8] Nájera-Aguilar, H. A., Gutiérrez-Hernández, R. F., Bautista-Ramírez, J., Martínez-Salinas, R. I., Escobar-Castillejos, D., Borraz-Garzón, R., Rojas-Valencia, M. N., y Giacomán-Vallejos, G. (2019). Treatment of low biodegradability leachates in a serial system of aged refuse-filled bioreactors. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11), 1–16. doi: 10.3390/su11113193.
- [9] Gray, D., Pollard, S. J. T., Spence, L., Smith, R., y Gronow, J. R. (2005). Spray irrigation of landfill leachate: Estimating potential exposures to workers and bystanders using a modified air box model and generalized source term. *Environmental Pollution*, 133(3), 587–599. doi: 10.1016/j.envpol.2004.06.010.
- [10] Li, Zhou, S. qi, Sun, Y. bo, Feng, P., y Li, J. D. (2009). Advanced treatment of landfill leachate by a new combination process in a full-scale plant. *Journal of Hazardous Materials*, 172(1), 408–415. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.07.034.
- [11] Wei, H., Wang, J., Hassan, M., Han, L., y Xie, B. (2017). Bioresource Technology Anaerobic ammonium oxidation-denitrification synergistic interaction of mature landfill leachate in aged refuse bioreactor: Variations and effects of microbial community structures. *Bioresource Technology*, 243, 1149–1158. doi: 10.1016/j.biortech.2017.07.077.
- [12] Ding, Zeng, X. L., Hu, X. Bin, Deng, Y., Hossain, M. N., y Chen, L. (2018). Characterization of Dissolved Organic Matter in Mature Leachate during Ammonia Stripping and Two-Stage Aged-Refuse Bioreactor Treatment. *Journal of Environmental Engineering (United States)*, 144(1). doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001291.
- [13] Xie, Lv, Z., Lv, B. Y., y Gu, Y. X. (2010). Treatment of mature landfill leachate by biofilters and Fenton oxidation. *Waste Management*, 30(11), 2108–2112. doi: 10.1016/j.wasman.2010.06.018.

- [14] Li, H., Zhao, Y., Shi, L., y Gu, Y. (2009). Three-stage aged refuse biofilter for the treatment of landfill leachate. *Journal of Environmental Sciences*, 21(1), 70–75. doi: 10.1016/S1001-0742(09)60013-9.
- [15] Lei, Y., Shen, Z., Huang, R., y Wang, W. (2007). Treatment of landfill leachate by combined aged-refuse bioreactor and electro-oxidation. *Water Research*, 41(11), 2417–2426. doi: 10.1016/j.watres.2007.02.044.
- [16] Zhao, Y., Li, H., Wu, J., y Gu, G. (2002). Treatment of leachate by aged-refuse-based biofilter. *Journal of Environmental Engineering*, 128(7), 662–668. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2002)128:7(662).
- [17] Song, L., Shi, L., Zhao, Y., y Li, H. (2011). Novel engineering controls to increase leachate contaminant degradation by refuse: From lab test to in situ engineering application. *Ecological Engineering*, 37(11), 1914–1919. doi: 10.1016/j.ecoleng.2011.06.023.
- [18] Xie, B., Xiong, S., Liang, S., Hu, C., Zhang, X., y Lu, J. (2012). Performance and bacterial compositions of aged refuse reactors treating mature landfill leachate. *Bioresource Technology*, 103(1), 71–77. doi: 10.1016/j.biortech.2011.09.114.
- [19] DOF (1985). Norma Mexicana NMX-AA-15-1985. Muestreo Método del Cuarteo. Diario Oficial de La Federación. Ciudad de México. En línea <<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa015.pdf>>. Recuperado el 15/06/2019.
- [20] APHA (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Editores: E. Rice, R. Baird, A. Eaton, y L. Clesceri; Edición 22. American Public Health Association. Washington D. C.
- [21] UNE (1993). UNE103204:1993. Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico. En línea: <<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0007840>>. Recuperado el 18/02/2019.
- [22] DOF (1980). NMX-AA-003-1980. Muestreo de Aguas Residuales. Diario Oficial de La Federación. En línea: <<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166762/NMX-AA-003-1980.pdf>>. Recuperado el 12/02/2019.
- [23] Gutiérrez, D. J. (2020) *Evaluación de la reducción de los tiempos de estabilización de sitios clausurados de disposición final de residuos sólidos urbanos*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- [24] Whitford, M. F., Forster, R. J., Beard, C. E., Gong, J. & Teather, R. M. (1998) Phylogenetic analysis of rumen bacteria by comparative sequence analysis of cloned 16S rRNA genes. *Anaerobe* 4, 153–163. doi: 10.1006/anae.1998.0155.

Evaluación de las propiedades físicas y químicas de carbones activados obtenidos a partir de tres residuos agroindustriales

Betsy Sailí Sánchez Martínez, Alina Zairén Vela Carrillo, Irma Robles Gutiérrez

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C. (CIDETEQ), Parque Tecnológico Querétaro, 76703 Sanfandila, Pedro Escobedo, Querétaro, México. E-mail: irobles@cideteq.mx

Resumen

La industria alimentaria genera toneladas de residuos de tipo agroindustrial constantemente, por lo que contaminan y se desperdicia materia prima; que aún tienen la posibilidad ser aprovechados para su transformación o extracción de valor agregado.

Este estudio se enfocó en la preparación y evaluación de carbones activados obtenidos a partir de residuos agroindustriales, para este fin se evaluaron: Borra de Café, Cáscara de Naranja y Residuos de Procesamientos Cítricos; los cuales fueron sometidos a distintas condiciones experimentales como concentración del agente activante, temperatura y tiempo de calcinación. Se evaluaron las propiedades físicas y químicas de los carbones activados obtenidos mediante las técnicas SEM, EDS, FTIR, Titulación Boehm y Titulación potenciométrica. Se observó que los carbones activados de borra de café y del residuo de procesamiento cítrico presentaron las mayores capacidades de adsorción, 2422.74 y 2382.46 mg de colorante por cada g de muestra, cuya afinidad se asocia a grupos ácidos, y básicos, respectivamente.

Palabras Clave: *adsorción, carbón activado, grupos superficiales, residuos agroindustriales*

1. Introducción

En el giro agroindustrial se encuentra la producción primaria: agrícola, pecuaria, forestal, entre otros. Generando residuos llamados agroindustriales. Estos residuos tienen como propósito el proceso de beneficio o transformación como segunda fuente alternativa para ser materia prima en la producción de carbones y carbones activados, así como la comercialización del producto, sin dejar de lado los aspectos de administración, mercadotecnia y financiamiento. Dicho en otra forma, es una actividad económica que combina el proceso productivo agrícola con el industrial para generar alimentos o materias primas semielaboradas destinadas al mercado [1]. Esto promueve el uso oportuno y eficaz de residuos orgánicos para ejercer influencia en un proceso productivo de valor agregado, como lo son los carbones activados de bajo costo.

La producción de carbón activado depende, entre otros aspectos, de la disponibilidad, la calidad y los costos de la materia prima, parámetros que de acuerdo con las propiedades intrínsecas del precursor determinan las propiedades físicas y químicas del carbón resultante [2].

Los carbones activados son utilizados en el tratamiento de aguas [3] con la finalidad de adsorber, entre otros contaminantes, colorantes, metales pesados, y compuestos emergentes. Esto es debido a su gran capacidad de adsorción que es atribuida a dos factores: la textura morfológica y la química superficial. Se han realizado trabajos de tratamientos específicos con la finalidad de mejorar estas propiedades y así aumentar la versatilidad de su empleo [4, 5]. Por otro lado, se ha encontrado que a mayor número de grupos oxigenados en la superficie del carbón contribuye a la disminución de la capacidad de adsorción de los carbones hacia los contaminantes orgánicos, especialmente los derivados fenólicos [6], aunque los materiales obtenidos con esas propiedades pueden ser utilizados para otro fin.

Las propiedades fisicoquímicas de los carbones activados desempeñan un papel importante sobre la capacidad de adsorción frente a distintos adsorbatos, las técnicas de modificación por tratamientos físicos

o químicos permiten obtener materiales con propiedades superficiales específicas, por lo que es posible adaptar los materiales a diferentes necesidades y así desarrollar una mayor selectividad frente a los adsorbatos [7–9].

El presente trabajo fue orientado a la valorización de los residuos agroindustriales transformándolos en carbón activado. Esto fue posible tras relacionar las propiedades físicas y químicas de cada uno de los materiales en el proceso de adsorción con 2 tipos de colorantes Azul de Metileno (catiónico) y Naranja de Metilo (aniónico) para finalmente conocer la afinidad de las superficies con estos.

2. Metodología

En este estudio se utilizó borra de café (BC), cáscara de naranja (CN), y residuos de una planta procesadora de cítricos para la extracción de pectinas (RC), que fueron utilizados para preparar carbones activados. Los residuos se sometieron a un pretratamiento que consistió en secar la muestra a 105 °C por 6 horas en un horno de secado *Binder*. Estas muestras, consideradas como precursores, se almacenaron hasta su uso, y se compararon con los carbones activados cuyo procedimiento se describe a continuación. Las muestras estudiadas se muestran en Tabla 1.

Tabla 1. Identificación de precursores y carbones activados estudiados

Acrónimo	Descripción
PBC	Precursor borra de café
PCN	Precursor cáscara de naranja
PRC	Precursor residuos cítricos
CBC	Carbón activado borra café
CCN1	Carbón activado cáscara de naranja método 1
CCN2	Carbón activado cáscara de naranja método 2
CRC1	Carbón activado residuo cítrico método 1
CRC2	Carbón activado residuo cítrico método 2

2.1 Preparación de carbones activados

Cada uno de los residuos agroindustriales tienen características diferentes, por lo cual, para llevar a cabo los análisis físicos y químicos, así como la activación de éstos, se establecieron condiciones variantes para cada material; entre ellos la concentración del agente activante y la temperatura de calcinación. Mismos que fueron basados en resultados previos del grupo.

El carbón activado de borra de café (CBC) fue preparado después de un proceso de extracción de aceite mediante una extracción Soxhlet con C_2H_5OH (1:10, p:v) a 80 °C. Una vez finalizada la extracción, se retiró el remanente sólido y se secó a 105 °C/6 h. Posteriormente se activó con H_3PO_4 concentrado 2:1 (p:v). Éste se sometió a un segundo secado a 105 °C / 6 h. Finalmente se llevó a cabo la calcinación en un horno tubular *Termonet* a una temperatura de 450 °C / 1 h con un flujo de N_2 , esta muestra es denominada CBC.

El carbón activado de Cáscara de Naranja fue obtenido después de un proceso previo de extracción de pectina, como se reporta en Tovar 2019 [10]. El residuo remanente se secó a 95 °C / 2 h. Posteriormente se impregnó en un medio ácido con H_3PO_4 [0.6 M] en una relación 1:6 (p:v), a 95 °C / 2 h. posteriormente se secó a 120 °C / 12 h. Finalmente se realizó un calcinado por dos métodos, el primero a 400 °C / 1h en horno tubular con flujo constante de N_2 , esta muestra se identifica como CCN1. El segundo método consistió en una calcinación a 600 °C / 3 h el resto de las condiciones permanecieron constantes, esta muestra se identificó como CCN2.

Finalmente, el residuo de procesamiento cítricos (PRC) se calcinó en el horno tubular a 400 °C/ 1 h con flujo constante de N_2 , esta muestra se identificó como CRC1; una segunda muestra de este residuo se preparó a 600 °C / 3 h, el resto de las condiciones permanecieron constantes, esta muestra se identificó como CRC. Cabe mencionar que estas muestras no fueron sujetas a una acidificación debido a que son residuos cítricos que ya presentan un pH bajo y son resultado de una extracción previa, por su proceso de origen.

2.2 Caracterización física y química de los carbones activados

Las muestras de BC, CN y RC como precursores y sus carbones activados derivados de cada material fueron caracterizados física y químicamente mediante las siguientes técnicas de análisis. La caracterización morfológica se observó mediante microscopia electrónica de barrido (SEM) utilizando un instrumento *Jeol, JSM-6510LV* a 15 KeV, acoplado a un detector *Buker XFlash6110* para el análisis de la composición superficial elemental mediante espectroscopia dispersiva de rayos-X (EDS). Los grupos funcionales se identificaron mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) utilizando un instrumento *Thermo Nicolet Nexus FTIR*, para este fin se elaboraron tabletas de la muestra mezclados con KBr libre de humedad. Las descripciones detalladas de las técnicas y métodos utilizados están disponibles en trabajos previos elaborados por Tovar (2019) [10].

Por otro lado, los grupos funcionales superficiales se identificaron por medio de la técnica de Titulación Boehm, para esta distinción los sitios ácidos se neutralizaron con una solución 0.1M de NaOH y los sitios básicos con una solución de HCl al 0.1M. Cada muestra se dispuso en contacto con la solución correspondiente (NaOH, Na_2CO_3 , NaHCO_3 y HCl al 0.1M) en agitación constante durante 24 h a 25 °C. Transcurrido el tiempo, las muestras se titularon con HCl o NaOH, respectivamente [11]. Finalmente, la técnica de titulación potenciométrica sirvió para evaluar la afinidad de los grupos funcionales mediante el punto de equivalencia. Para esto se preparó una solución de NaOH y HCl a diferentes concentraciones (0.2, 0.7, 1.0, 1.2, 1.7 y 2.0 M), a las que se agregó la muestra de precursor o carbón activado en una relación 1:400 (p:v), y se midió el pH al llegar al tiempo de equilibrio.

2.3 Evaluación de la capacidad de adsorción

Una vez que se obtuvieron las características físicas y químicas de las muestras de carbón activado como de los precursores en su estado natural, se determinó la capacidad máxima de adsorción a través del contacto con el colorante Azul de Metileno (AM) o Naranja de Metilo (NM), según las condiciones superficiales afines de los pigmentos mencionados. Para este análisis se utilizó una relación 1:500 (p:v) donde las muestras se mantuvieron en agitación constante durante 44 h, después de este tiempo se cuantificó en nanómetros (nm) la concentración de colorante en la solución mediante espectrofotometría UV-Vis, en un equipo espectrofotómetro *Genesys*; se evaluaron las longitudes de onda de 664 nm para AM, y 466 nm para NM, y a partir de las respectivas curvas de calibración se calculó la concentración de color adsorbida por el material.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización física y química

A través del SEM fue posible determinar la naturaleza textural superficial del material obtenido. Se puede apreciar las partículas individuales de forma indefinida, así como irregularidades superficiales que originan mesoporos en la estructura carbonosa. Para cada micrografía se utilizó un aumento de 1000x. En la Figura 1a se observa la micrografía de PBC material precursor, donde se observa un aspecto rugoso, desigual y comprimido. Sin embargo, al ser sometido a una transformación de activación material y de composición (CBC, Figura 1b), se tienen superficies meticulosas con algunas hacinaciones y canales; permitiendo cavidades porosas. Simulan apariencias de hojuelas.

Por otro lado, en la Figura 1c se observa una comparación morfológica que muestra los cambios físicos del componente PCN que involucran las diferentes condiciones de activación para la elaboración del carbón activado (Figura 1d y Figura 1e). Se puede observar que en un principio hay poros casi nulos, dando una apariencia compacta, pero conforme es sometido a cambios de temperatura y acidez, así como de extracción; se van generando superficies porosas e irregulares. Incluso en algunas de ellas se muestran partículas esféricas o con algunas limitaciones en forma de gusanos y rocas.

Para las muestras de Residuos Cítricos se puede encontrar en la Figura 1f, que el precursor PRC al ser incluido en un proceso de transformación, presenta en un inicio una verosimilitud irregular de canales con paredes casi lisas (Figura 1g y Figura 1h). Caso contrario a las muestras que fueron calcinadas a diferentes temperaturas, y tienen una morfología uniforme con siluetas en espiral, dando una apariencia rugosa con poros abiertos, muy parecida a un arrecife.

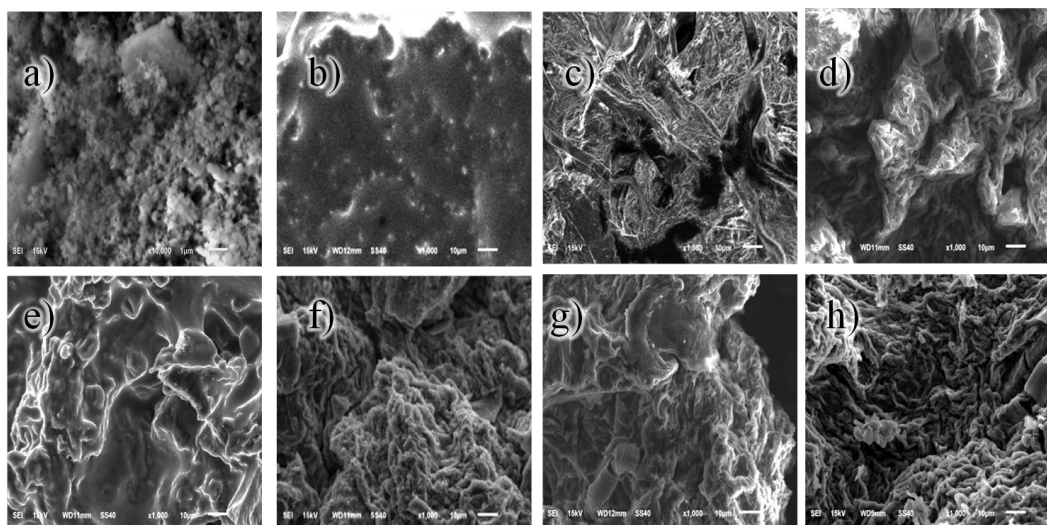


Figura 4. Micrografías de los materiales a) PBC, b) CBC, c) PCN, d) CCN1, e) CCN2, f) PRC, g) CRC1, h) CRC2

Por otro lado, el análisis mediante EDS, permitió conocer los elementos de cada uno de los carbones activados y sus precursores. Esto se puede observar en la Figura 2, donde se percibe la composición porcentual y característica de Carbono, Oxígeno, Fósforo y Potasio, principalmente, que son elementos que se atribuyen a la activación física y química de las propiedades peculiares de la celulosa, hemicelulosa y lignina. Cabe mencionar que la presencia de Oxígeno elimina la interconexión entre átomos de carbono y procesos de intercalación en el carbón que aumenta la distancia interlamilar y disminuyen su cristalinidad del material permitiendo una adherencia a la superficie que generan grupos funcionales constituyentes.

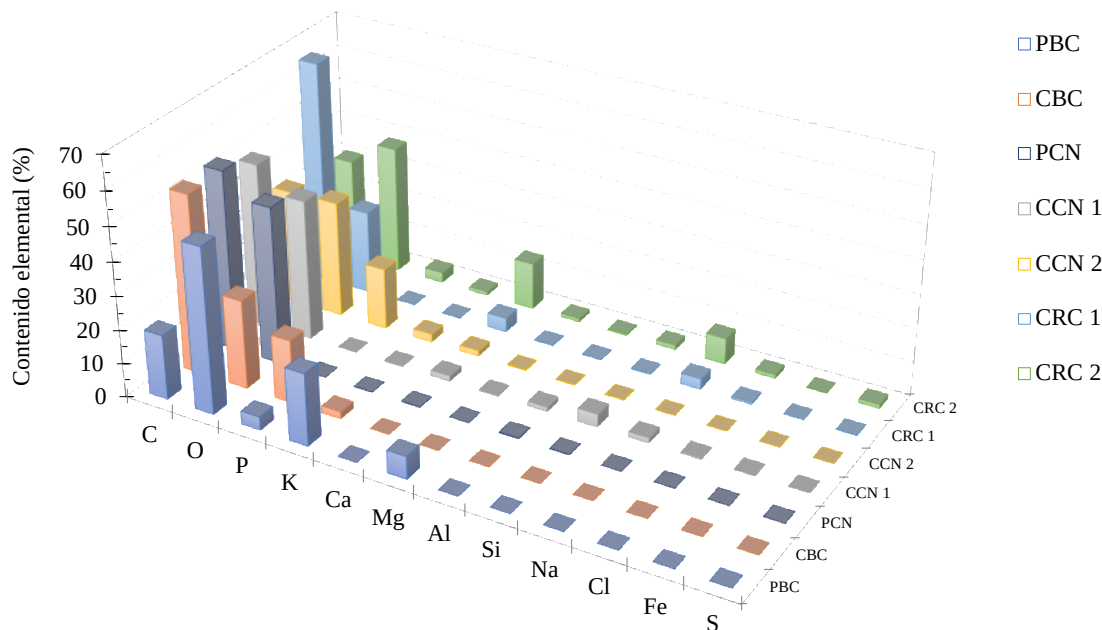


Figura 5. Contenido elemental de los precursores y carbones activados

Respecto a la identificación de enlaces vibracionales mediante FTIR, se identificaron los grupos funcionales presentes en los carbones activados para cada una de las muestras de los residuos agroindustriales y sus carbones activados. Las señales de Transmitancia (%), se identificaron en las muestras a diferentes intensidades, como se muestra en la Figura 3. Se identificaron las señales en las bandas de absorción a los 3400 cm^{-1} (oxidrilos), $2910\text{-}2903\text{ cm}^{-1}$ (estiramientos por enlaces C-H), con flexiones en 1380 cm^{-1} presentes en la celulosa y hemicelulosa, $3400\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ atribuido a fenoles, 1763 cm^{-1} a los grupos C=O y finalmente 1050 cm^{-1} característico de los grupos C-O; lo que muestra presencia de compuestos aromáticos, carbonílicos, fenólicos, alifáticos, cetonas, bióxido de carbono y estructuras polisacáridos. Las marcas que coinciden en los espectros se atribuyen a las características específicas de los compuestos en las biomazas como la lignina, entre ellos el pico en los 3400 , 1750 , 1600 y 1050 cm^{-1} [11]. Es posible observar que la intensidad en las señales se ve disminuida en los carbones activados obtenidos a una mayor temperatura, lo que se asocia a la pérdida de grupos por el proceso de calcinación.

Por otro lado, fue posible identificar mediante titulación Boehm, que para el primer valorador (NaHCO_3) todas las muestras indicaron 0.001 ± 0.0006 moles, lo que significa que poseen grupos carboxílicos con enlaces de tipo -COOH, casi en igual proporción. Para el segundo valorador (Na_2CO_3) sólo se tuvo respuesta para las muestras de PBC (0.0017 moles), PCN (0.004 moles), y CRC1 (0.001 moles), éstos presentan evidencia de la presencia de grupos de tipo lactónico y carboxílicos. Es posible mencionar que específicamente en los ejemplares de BC se presentaron cambios drásticos de pH al final del proceso, lo que se asocia a que este material contiene sitios activos ácidos como grupos carboxilo (RCOOH), anhídrido carboxílico (RCO), lactonas (RCOOR), e hidroxilo (ROH) de carácter fenólico, por su propio origen. Finalmente, para el cuarto valorador de NaOH, no hubo respuesta, por lo que los resultados indican que no hay presencia de grupos fenólicos [11].

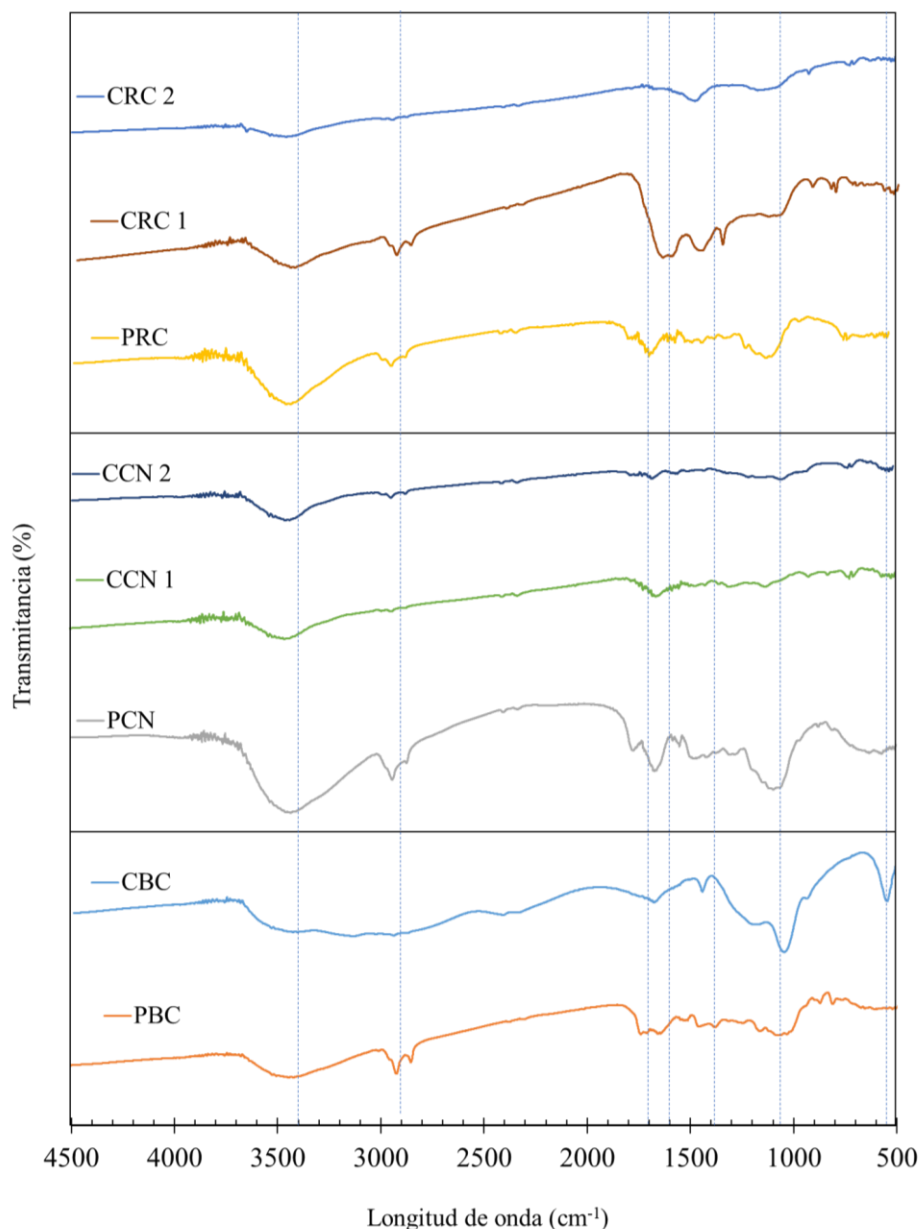


Figura 6. Espectros de FTIR de precursores y carbones activados

El estudio de titulación potenciométrica es complementario a la Titulación Boehm, en este experimento fue posible observar que, a pH menores al punto neutro, la superficie del Carbón Activado está cargado positivamente, por lo tanto, atrae especies aniónicas. Por el contrario, cuando el pH es mayor, la superficie está cargada negativamente atrayendo cationes. La distribución de la carga superficial de los carbones se resume en que las muestras precursoras y carbones obtenidos por medio de su activación (química como física) presentan la siguiente afinidad de superficie. Entonces es posible decir que, la formación de grupos ácidos en el carbón activado desarrollados a partir de residuos lignocelulósicos debido a la hidrólisis del precursor en condiciones ácidas conduce a la formación de grupos carboxílicos y a las reacciones entre el agente activante y precursor o productos de hidrólisis [12]. Aunque los materiales contienen ambos grupos, tanto ácidos como básicos, contienen uno de manera predominante, en la Tabla 2 se resumen las observaciones identificadas por tipo de residuo.

Tabla 2. Observaciones de la distribución de carga superficial mediante titulación potenciométrica

Residuo Agroindustrial	Afinidad de grupos funcionales	Afinidad de superficie
PBC PCN PRC CBC CCN1 CCN2 CRC1	Grupos Ácidos	Superficie cargada positivamente, atracción de aniones
CRC2	Grupos Básicos	Superficie cargada negativamente, atracción de cationes

3.2 Evaluación de la capacidad de adsorción

En la Figura 4 se muestra la capacidad de adsorción de precursores y carbones activados. El color azul se identifica en la muestra que estuvo en contacto con una solución de AM por ser afín a grupos básicos; el resto de las muestras se puso en contacto con NM por ser afín a grupos ácidos, según los resultados de titulación potenciométrica.

Es posible apreciar que las muestras que presentan una mayor capacidad de adsorción fueron el carbón activado obtenido a partir de CBC, y aquél obtenido de CRC2, con una capacidad de 2422.74 y 2382.46 mg de colorante por cada g de muestra, respectivamente. Es posible concluir de estas muestras que el proceso de activación termoquímico favorece la capacidad de adsorción, asociado a un incremento de grupos funcionales superficiales desarrollados.

El resto de las muestras poseen una capacidad de adsorción entre 650 y 1400 mg/g, lo que los hace buenos materiales adsorbentes. Esto da evidencia de la factibilidad de utilizar residuos agroindustriales para preparar carbones activados.

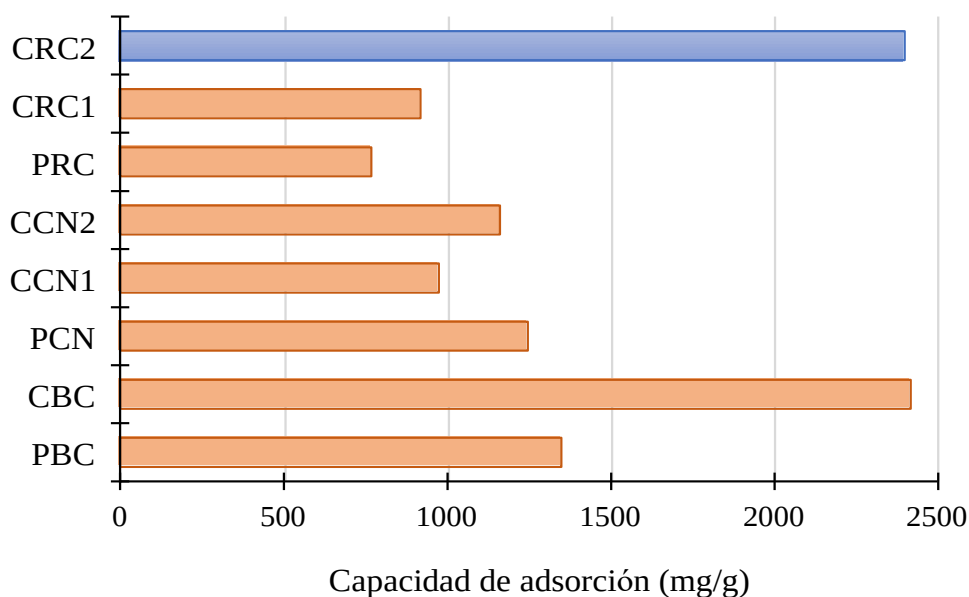


Figura 7. Capacidad de adsorción de los materiales, en color azul se representa la muestra en contacto con una solución de AM; en color naranja las muestra en contacto con una solución de NM, por su afinidad

4. Conclusiones

La elaboración de carbones activados permitió determinar las condiciones aptas para aprovechar la biomasa de los residuos agroindustriales lo cual representa entre el 30 al 50 % de su composición en peso. En este estudio se evaluaron las propiedades físicas y químicas de cinco muestras de carbones activados, se logró identificar el cambio en la morfología asociado al proceso de activación termoquímica, donde visiblemente se atiende a las diferencias morfológicas características de los materiales en cada una de sus transformaciones donde hay surcos, canales y poros de distintos tamaños. El proceso de transformación a carbones activados también promueve la formación de grupos superficiales con enlaces de tipo C-H, C=O, C-O, -OH, principalmente. Se observó que los grupos superficiales son los encargados de facilitar la adsorción, que a su vez depende fuertemente del pH ya que ello facilita o limita tal proceso según la afinidad de la superficie. Debido al efecto termoquímico es posible que se generen cargas en la superficie del adsorbente como la relación entre los iones de la solución y grupos funcionales empáticos entre sí, dando una afinidad a las de los colorantes ácidos o básicos.

En las pruebas realizadas con estos residuos agroindustriales se concluye que los materiales con mayor aprovechamiento son los carbones activados de Borra de café y el de Residuo de procesamiento cítricos calcinado a 600 °C, cuya afinidad se asocia a grupos ácidos, y básicos, respectivamente.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CIDETEQ por las facilidades para desarrollar la presente investigación, también agradecen el financiamiento otorgado por el Proyecto 285309, Ciencia Básica, CONACYT CB-2016-01.

Referencias Bibliográficas

- [1] S. Saval, (2012) Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro, *BioTecnología*. 16 14–46.
- [2] J. Prías Barragán, C. Rojas González, N. Echeverry Montoya, G. Fonthal, H. Ariza Calderón, (2011) Identificación De Las Variables Óptimas Para La Obtención De Carbón Activado a Partir Del Precursor Guadua Angustifolia Kunth. *La Acad. Colomb. Ciencias Exactas, Físicas y Nat.*
- [3] S. Biniak, M. Pakuła, G.S. Szymański, A. Świątkowski, (1999) Effect of activated carbon surface oxygen- and/or nitrogen-containing groups on adsorption of copper (II) ions from aqueous solution, *Langmuir*. 15 6117–6122. <https://doi.org/10.1021/la9815704>.
- [4] M. Goyal, V.K. Rattan, D. Aggarwal, R.C. Bansal, (2001) Removal of copper from aqueous solutions by adsorption on activated carbons, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 190 229–238. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(01\)00656-2](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(01)00656-2).
- [5] Y.F. Jia, K.M. Thomas, (2000) Adsorption of cadmium ions on oxygen surface sites in activated carbon, *Langmuir*. 16 1114–1122. <https://doi.org/10.1021/la990436w>.
- [6] S. Haydar, M.A. Ferro-García, J. Rivera-Utrilla, J.P. Joly, (2003) Adsorption of p-nitrophenol on an activated carbon with different oxidations, *Carbon N. Y.* 41 387–395.
- [7] Y. Wang, X. Wang, X. Wang, M. Liu, L. Yang, Z. Wu, S. Xia, J. Zhao, (2012) Adsorption of Pb (II) in aqueous solutions by bamboo charcoal modified with KMnO₄ via microwave irradiation, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 414 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2012.08.007>.
- [8] J. Rivera-Utrilla, M. Sánchez-Polo, V. Gómez-Serrano, P.M. Álvarez, M.C.M. Alvim-Ferraz, J.M. Dias, (2011) Activated carbon modifications to enhance its water treatment applications. An overview, *J. Hazard. Mater.* 187 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.033>.

- [9] W.M.A.W. Daud, A.H. Houshamnd, (2010) Textural characteristics, surface chemistry and oxidation of activated carbon, *J. Nat. Gas Chem.* 19 267–279. [https://doi.org/10.1016/S1003-9953\(09\)60066-9](https://doi.org/10.1016/S1003-9953(09)60066-9).
- [10] A.K. Tovar Arce, (2017) Valorización integral de cáscaras de naranja mediante extracción de pectina y elaboración de carbón activado.
- [11] L.J. Barón Pacheco, (2014) Evaluación de la cascarilla de café como material adsorbente para la remoción de iones plomo Pb^{+2} presente en soluciones acuosas, 67. [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11234/DOCUMENTO_FINAL_LAURA BARÓN](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11234/DOCUMENTO_FINAL_LAURA_BARÓN).
- [12] N. Villa, (2012) Producción de carbón activado a partir de la cáscara de frijol de soya para su aplicación como adsorbente en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con colorante verde de malaquita, 117.

Sistema de reciclado comunitario de residuos sólidos alimenticios: caso de estudio colonia INDECO en Tepic, Nayarit

¹Alejandra Mayorga González, ²Claudia Estela Saldaña Duran, ³Sarah Ruth Messina Fernández, ⁴María del Consuelo Hernández Berriel, ⁵Brenda Acevedo Juárez

¹Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura, Colonia Centro Tepic, Nayarit, México, cesduran@uan.edu.mx;

^{2,3}Universidad Autónoma de Nayarit

⁴Instituto Tecnológico de Toluca,

⁵ Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara

Resumen

Los residuos sólidos alimenticios se generan en gran cantidad en los hogares de México. Esto representa un gran problema para la gestión y el desarrollo urbano en las ciudades. La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura determina que se desperdician anualmente millones de toneladas de residuos sólidos alimenticios en el mundo, acrecientan la contaminación de agua, aire y suelo. El objetivo de este trabajo es impulsar en la comunidad INDECO de la ciudad de Tepic en Nayarit un sistema de reciclado de residuos sólidos alimenticios para el compostaje con tres diferentes tipos de arenas de la región. El estudio se abordó a través de una vía social y una vía tecnológica en la que se establecieron las siguientes etapas: capacitación para la separación de los residuos sólidos alimenticios, recolección de los residuos, caracterización y preparación del material orgánico, monitoreo del proceso de compostaje, realización de estudios físicos y químicos de la composta obtenida, y presentación de resultados a la comunidad. Los resultados muestran la participación y aceptación del sistema de reciclado por la comunidad. Los estudios físicos, químicos y biológicos de la composta obtenidos demuestran que el sistema de reciclaje es alimentado mediante la experiencia adquirida para realizar mejoras en el proceso de compostaje y conseguir una composta de calidad de uso agrícola. La ventaja de utilizar arenas de la región en el proceso de compostaje ayudó al manejo de la mezcla absorbiendo la humedad, controlando olores y la oportunidad de adquirir experiencia en el manejo de las condiciones que favorecen el proceso de compostaje para la mejora. Se establece la importancia de estos estudios puntuales en comunidades pequeñas que pueden orientar a los planificadores urbanos al tener datos reales de composición de residuos sólidos e impulsar el compostaje, organizar recursos y capacitación para otras comunidades interesadas.

112

Palabras Clave: *Caracterización de residuos, composición de residuos, residuos orgánicos y participación comunitaria.*

1. Introducción

En la ciudad de Tepic, Nayarit cada año se genera una enorme cantidad de residuos sólidos alimenticios. La cantidad de generación diaria de residuos sólidos urbanos es de 414.5 ton de las que se estima que el 37.5 % corresponde a residuos orgánicos [1], esta cantidad de residuos se disponen diariamente en el vertedero el Iztete sin control desde la ingeniería sanitaria. Los sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos basados en la recolección de residuos mezclados, el transporte y su disposición final tiene un impacto al ambiente y al ser humano [2]. Los residuos sólidos alimenticios representan la mayor fracción en la generación de los residuos sólidos urbanos y se convierte en un problema emergente del ciclo biogeoquímico del ecosistema urbano [3]. De acuerdo con la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), sostiene que se desperdician anualmente 1300 millones de toneladas de alimentos en el mundo que dañan al clima, el agua, la tierra y la biodiversidad [4]. Los residuos alimenticios representan un recurso importante y su reducción producirá resultados positivos ambientales [5]. La utilización del compostaje como método biológico para el tratamiento de los residuos

alimenticios es considerado a llevarse a cabo por la comunidad. Este hecho origina la separación limpia de los residuos orgánicos desde el origen, es decir, en el hogar [2]. El compostaje es un proceso valorado en la gestión de los residuos sólidos orgánicos pues se puede obtener un producto valioso que proveerá al suelo de manera natural nutrientes y microorganismos necesarios para el crecimiento favorable de vegetación [6]. Además, de que el sistema de compostaje de residuos sólidos orgánicos en pilas estáticas aireadas es de bajo costo [7]. Sin embargo, aún hace falta evaluar los alcances financieros, sociales, ambientales y de planificación urbana en el reciclaje de los residuos sólidos alimenticios [8]. El objetivo de este trabajo es impulsar en la comunidad INDECO de la ciudad de Tepic de Nayarit un sistema de reciclado de los residuos sólidos alimenticios mediante compostaje empleando tres diferentes tipos de arenas de la región: jalosa, arenosa y arcillosa. De esta manera, se crearán estrategias de recolección de los residuos para una colonia específica en la ciudad de Tepic, Nayarit, además de la generación de datos reales de composición de residuos sólidos que puedan orientar a los planificadores urbanos.

1.1 Compostaje

El compostaje es un proceso aerobio natural, los residuos orgánicos se transforman y estabilizan biológicamente ocasionando una reducción de peso y volumen, y la producción de composta. Este producto se considera de buena calidad cuando las proporciones de carbono, nitrógeno, fósforo, minerales y metales, pH y temperatura no causan toxicidad a la vegetación, sino por el contrario al ser incorporación al suelo aumenta la fertilidad [9]. Así mismo, dependiendo de su calidad puede ser aplicado en huertos, jardines, suelos agrícolas y reforestación [10]. Los microorganismos excretan enzimas especializadas que digieren los componentes de los residuos orgánicos como: celulosa, lignina, almidón y polisacáridos complejos, proteínas y grasas, convirtiéndolos en nutrientes simples fácilmente biodegradables como: azúcares, aminoácidos y ácidos grasos. Para que ocurran estos procesos las condiciones de temperatura, humedad, aireación, la relación C/N, el tamaño de partícula y pH del medio deben ser favorables [11]. A medida que transcurren los procesos de biodegradación de los residuos orgánicos, los microorganismos crecen y se reproducen cambiando las condiciones del medio y las poblaciones microbianas, esto genera reacciones exotérmicas, gases de carbono y agua (Figura 1). De lo anterior resulta, durante el proceso, una pérdida de masa y de volumen [2].

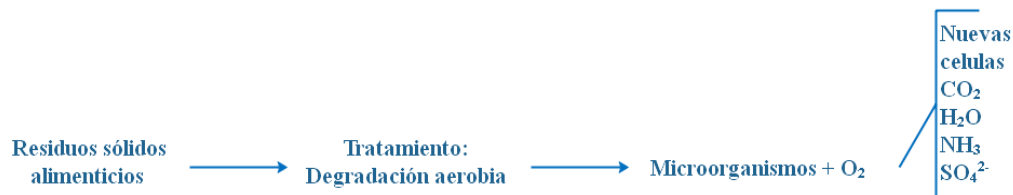


Figura. 1. Degradación residuos sólidos alimenticios

2. Metodología

Las características de los residuos orgánicos alimenticios pueden ser muy diferentes según la fuente y los hábitos de consumo de la región. Los residuos sólidos orgánicos alimenticios pueden tener una humedad entre el 74 y el 90% y ser compactos [12]. Es por esto, que para llevar a cabo el proceso de compostaje aerobio en pilas se usaron tres diferentes tipos de arenas: jalosa, arenosa y arcillosa (figura 2), con la finalidad de reducir la humedad, mejorar la mezcla inicial de compostaje y el manejo de la composta. El proceso se llevó a cabo en el invernadero de la Universidad Autónoma de Nayarit permitiendo tener condiciones seudoestables de temperatura y humedad. El suelo del invernadero se limpió de residuos y maleza, y se niveló para la preparación de tres camas de 3 m de largo por 1 m de ancho y 0.5 m de profundidad.



Figura. 2. Arenas del municipio de Tepic: (1) jalosa, (2) arenosa y (3) arcillosa

Para obtener los residuos sólidos alimenticios para el sistema de reciclado de los residuos sólidos alimenticios se consideró la vía social con la participación de la comunidad INDECO de la ciudad de Tepic en Nayarit y la vía tecnológica con la producción de composta. De esta manera para este estudio se llevó a cabo las siguientes etapas: (1) capacitación para la separación de los residuos sólidos alimenticios, (2) recolección de los residuos, (3) caracterización y preparación del material orgánico, (4) monitoreo del proceso de compostaje, (5) realización de estudios físicos y químicos de la composta obtenida, y (6) presentación de resultados a la comunidad. A continuación, se detalla cada etapa del sistema de reciclado.

1. Capacitación para la separación de los residuos sólidos alimenticios: Se convocó a una reunión a las Señoras Ambientalistas de la colonia INDECO lideradas por la Sra. Martha Patricia Ramírez Álvarez, a las que se les presentó el proyecto y se les indicaron las condiciones de separación y recogida de los residuos sólidos alimenticios.

2. Recolección de los residuos: Se programó la recogida del material los martes y viernes. Se utilizaron dos contenedores con tapadera de 200 litros para la recogida del material, para dejar un contenedor limpio y recoger un contenedor con los residuos sólidos alimenticios.

3. Caracterización y preparación del material orgánico: Los residuos sólidos alimenticios, se pesaron y clasificaron según su composición, después se dispuso el material en tres pilas distintas, se trituraron con pala y pico, y se incorporó a cada pila un tipo de arena en proporción del 35% m/m a la cantidad de los residuos sólidos alimenticios.

4. Monitoreo del proceso de compostaje: Una vez que se realizó la mezcla de los residuos orgánicos alimenticios con la arena en la pila, se determinó la temperatura mediante un termómetro digital insertado a la pila en nueve puntos. El registro de la temperatura se realizó todos los días durante tres meses. El material se aireó mediante volteo todos los días con una pala.

5. Realización de los estudios físicos, químicos y biológicos (coliformes fecales): La determinación de parámetros físicos: tamaño de partícula de la composta la realizó el Laboratorio de Proyectos, Control de Calidad y Topográficos S.A. de C.V.; los estudios químicos: humedad, nitrógeno amoniacal se realizaron de acuerdo al procedimiento PT-09 de la norma NMX-AA-026-SCFI-2001 [10], el fósforo al procedimiento descrito en la norma NMX-AA-029-SCFI-2001 [11], y el carbono orgánico se determinó según la norma NMX-AA-021-1985 [12]; los metales: zinc, manganeso, níquel, cromo, plomo se llevaron a cabo según el procedimiento PT-14 de la norma NMX-AA-051-SCFI-2001 [13]; y los coliformes fecales se determinaron mediante el Anexo II de la NOM-004-SEMARNAT-2002 [14].

6. Presentación de los resultados a la comunidad: Al final de proceso de compostaje de las tres compostas, se presentó el producto a las Señoras Ambientalistas de la colonia INDECO. También se les presentaron los resultados de los estudios físicos, químicos y biológicos de las compostas y se instruyó sobre las mejoras a realizar para el reciclado de los residuos sólidos alimenticios, generando nuevamente una capacitación para la mejora del proceso de compostaje (Figura 3).



Figura. 3. Etapas del sistema de reciclado comunitario de residuos sólidos alimenticios

3. Resultados y discusión

A continuación, se describen los resultados de las etapas consideradas en el sistema de reciclado comunitario de residuos sólidos alimenticios.

1. Capacitación para la separación de los residuos sólidos alimenticios.

Se capacitó a 30 Señoras Ambientalistas de la colonia INDECO. A las señoras se les instruyó sobre la forma de separar los residuos sólidos alimenticios, y de depositarlos en contenedores de 200 litros cerrados herméticamente para evitar la intrusión de animales.

2. Recolección de los residuos.

Se recolectaron los residuos sólidos alimenticios los martes y viernes. El martes se recogía el contenedor con los residuos sólidos alimenticios y se proporcionaba un contenedor limpio para recolectar los residuos al siguiente viernes. Una vez que se recogían los residuos sólidos alimenticios eran transportados al invernadero. Al llegar al invernadero los residuos eran preparados para depositarse en una pila a la vez. Este proceso se efectuó durante cuatro semanas, la primera semana se consideró como prueba.

3. Caracterización y preparación del material orgánico.

Se obtuvo un promedio de peso de 240 kg cada semana de los residuos sólidos alimenticios, se separaron y se determinó su composición. La figura 4 muestra la composición de los residuos alimenticios recolectados, se puede observar que frutas, verduras y cárnicos constituyen el 65% y son residuos con altos contenido de humedad. El material se dispuso en la pila respectiva de cada semana, se trituró, con la

finalidad de reducir la humedad y promover la estabilización de los residuos, se le incorporó a cada pila el 35% m/m de arena por residuos sólidos alimenticios a cada pila. Posteriormente, se mezclaron mediante volteo para airear la mezcla.

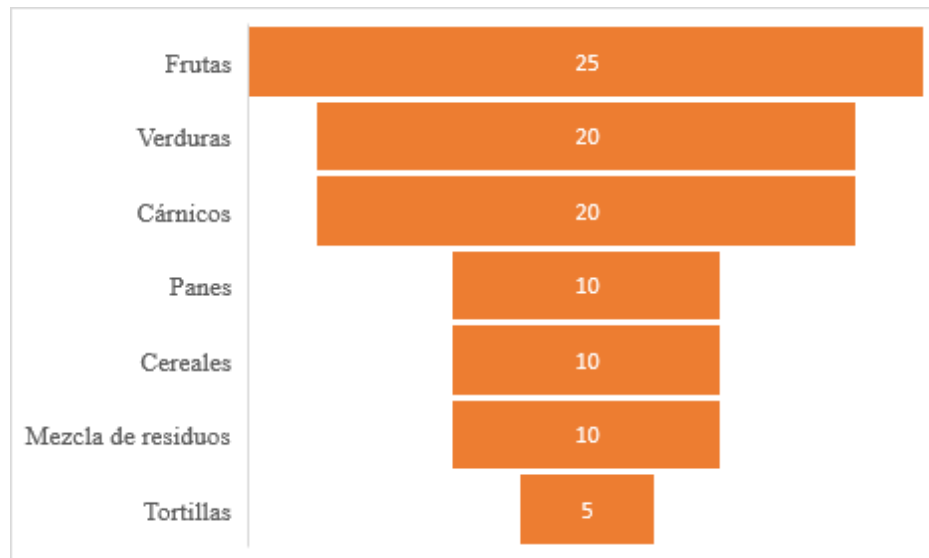


Figura. 4. Composición de los residuos sólidos alimenticios

4. Monitoreo del proceso de compostaje

Durante tres meses se realizó la toma de temperatura en 9 puntos de la pila. En la figura 5 se muestra el perfil de la temperatura promedio de los 9 puntos de la pila diarios de cada una de las pilas. Los perfiles muestran en los tres tipos de composta el aumento de temperatura en los primeros días hasta los 45°C, esto indica el crecimiento de microorganismos mesófilos y la degradación de compuestos solubles como azúcares. La composta con arena jalosa y con arena arcillosa sigue con el aumento de la temperatura hasta los 55 y 53 °C respectivamente, llegando a la fase termófila en 10 días, en esta etapa la literatura indica que los microorganismos mesófilos son reemplazados por bacterias termófilas que degradan sustancias más complejas como celulosa y lignina, entre otros. Sin embargo, la composta con tierra arenosa subió hasta los 48 °C y comenzó la etapa del enfriamiento, siendo entonces la etapa termófila muy corta. A partir del primer mes inicia la fase de enfriamiento y maduración en las tres compostas, esto indica el cambio nuevamente de microorganismos termófilos a mesófilos [13]. Una vez que la temperatura de enfriamiento se estabilizó fueron tomadas muestras de las compostas para ser caracterizadas.

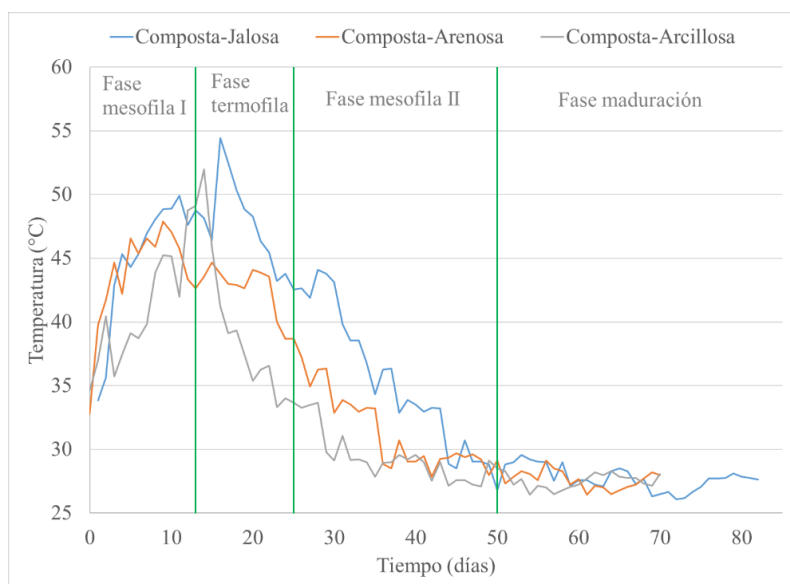


Figura. 5. Monitoreo diario de las pilas de compostaje con las arenas: jalosa, arenosa y arcillosa

5. Realización de los estudios físicos, químicos y biológicos.

Los resultados de la caracterización de las muestras de las tres compostas obtenidas con diferentes tipos de arena (jalosa, arenosa y arcillosa) se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características físicas, químicas y biológicas de la composta obtenida con las tres arenas

Parámetro	Características de la composta obtenida con tres tipos de arenas:			Características generales de composta según NADF-020-AMBT-2011	
	Jalosa	Arenosa	Arcillosa	Viveros y tierra para maceta	Agricultura y reforestación
Tamaño de grano (mm)	19	10	19	<10	<30
Humedad (%)	33	36	32	25-35	
Carbono orgánico % MS	1.83×10^{-4}	2.4×10^{-4}	2.2×10^{-4}	>20	
Nitrógeno %	0.28	0.98	0.28	1 -3 %	
Fósforo %	0.037	0.021	0.023		
Zinc (mg/kg)	80	92	86	200	500
Plomo (mg/kg)	27	29	29	45	120
Cromo (mg/kg)	164	51	36	70	70-250
Manganeso (mg/kg)	537	527	362	-	-
Níquel (mg/kg)	78	26	43	-	-
Coliformes fecales (NMP/g)	500	690	160	<1000 (en base seca)	

La composta es el proceso por el que los residuos orgánicos son mineralizados, para que los nutrientes como: nitrógeno (N), fósforo (P) y minerales puedan ser reciclados. La composta según la norma NADF-020-AMBT-2011 establece las especificaciones mínimas de calidad de una composta para ser empleada en viveros, suelos agrícolas, reforestación o áreas verdes urbanas, estas especificaciones pueden verse en la Tabla 1 [10].

Los resultados obtenidos de las tres compostas muestran que en cuestión de tamaño de grano y humedad se encuentran dentro del rango establecido por la norma, sin embargo, la materia orgánica y el nitrógeno muestran que el manejo del proceso de compostaje necesita ser mejorado, aunque el perfil de temperatura mostró que las etapas del proceso de compostaje estuvieron presentes, tal vez se produjo la volatilización de amonio y CO₂. Onwosi y col. sugieren que la pérdida de carbón y nitrógeno se da cuando la aireación no es adecuada o la mezcla inicial de residuos orgánicos no guarda la relación C/N de 30-35 [12]. Sin embargo, tiene altos contenidos de minerales los cuales pudieron ser aportados o retenidos por la arena o bien aportados por los residuos orgánicos alimenticios. Cabe destacar que al agregar las arenas facilitó el manejo de la composta al mejorar la estructura de la mezcla, y además controlar la generación de olores, y la conservación de la humedad; tal como también lo reporta Tomask Glab el cual utilizó arena arcillosa en diferentes porcentajes resultando en mejores parámetros físicos como la densidad y porosidad [14]. Este tipo de manejo del proceso de compostaje generó una nueva experiencia sobre el manejo del proceso de compostaje, por lo que se continuará trabajando con la comunidad para mejorar el manejo del proceso de compostaje utilizando estas arenas.

6. Presentación de los resultados a la comunidad.

La presentación de las tres compostas y los resultados de los estudios de las compostas se realizó a la comunidad. La respuesta de las señoras ambientalistas de la colonia INDECO mostraron entusiasmo y motivación al observar el resultado de su trabajo de separación y recolección de los residuos sólidos alimenticios. Como muestra la metodología, se procedió con otra capacitación con nuevas indicaciones sobre la separación y recolección de los residuos sólidos alimenticios retroalimentadas con la experiencia obtenida. Las nuevas indicaciones consistieron en separar y recolectar los residuos secos y ricos en carbono para mejorar el manejo del proceso del compostaje. Esta metodología se aplicará hasta alcanzar los requerimientos de una composta de calidad para uso agrícola.

Los resultados muestran la importancia de la planeación urbana en la viabilidad del compostaje en los hogares como lo menciona Shantanu Pai [8], estos estudios destacan como alternativas estratégicas para el reciclaje de los residuos orgánicos alimenticios, que una vez adquirida la experiencia llegará a ser utilizada en los plantíos de la región. El sistema de reciclaje en la colonia INDECO se llevó a cabo sin la intervención de una autoridad de planeación urbana. Este caso de estudio demuestra que las comunidades pueden autoorganizarse en la labor del reciclaje de residuos orgánicos alimenticios y ver el esfuerzo de la comunidad en un producto que puede ayudar a los agrícolas de la región.

Por otro lado, no existen datos disponibles y actualizados sobre la generación y composición de los residuos sólidos alimenticios y la participación social en la separación selectiva de los residuos. Debido a esto los planificadores suelen realizar supuestas proyecciones, por lo que se establece que este tipo de estudios son significativos para determinar la generación y composición de estos. Se requiere realizar investigación para explorar el potencial del desarrollo económico al incorporar el compostaje de los residuos sólidos alimenticios al sistema urbano. Identificar un proceso para evaluar el impacto de este estudio e implementar estrategias de participación con pequeñas comunidades e incorporar los hallazgos en la planificación urbana.

7. Conclusiones

Se concluye que se debe promover de manera planificada un sistema de reciclaje de residuos sólidos alimenticios para el compostaje en pequeñas comunidades. Este sistema de compostaje comunitario tiende a tener una nula asistencia de una autoridad de planeación urbana. Las comunidades de la localidad pueden autoorganizarse para identificar, ubicar y configurar una infraestructura inicial en el sistema del reciclaje. La incorporación de arenas del municipio de Tepic: jalosa, arenosa y arcillosa ayudó a mejorar el manejo de los residuos sólidos alimenticios en el proceso de compostaje facilitando el manejo de la composta al mejorar la estructura de la mezcla, el control de olores, y la conservación de la humedad. La participación comunitaria en la planeación de los residuos sólidos con lleva un enorme esfuerzo a la comunidad, permitiría que los planificadores intervengan para impulsar el compostaje, organizar recursos y capacitación para otras comunidades interesadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de los estudiantes del XXIV Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico 2019 y a los estudiantes de bachillerato de la Universidad Autónoma de Nayarit en el PROGRAMA EXPLORA 2019.

Referencias Bibliográficas

- [1] C. E. Saldaña Durán, I. P. Hernández Rosales, S. Messina Fernández, and J. A. Pérez Pimienta, “Caracterización física de los residuos sólidos urbanos y el valor agregado de los materiales recuperables en el vertedero el Iztete, de Tepic-Nayarit, México,” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 29, no. SUPPL. 3, pp. 25–32, 2013.
- [2] H. Jouhara *et al.*, “Municipal waste management systems for domestic use,” *Energy*, vol. 139, pp. 485–506, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.07.162.
- [3] W. Xu, C. Zhou, A. Cao, and M. Luo, “Understanding the mechanism of food waste management by using stakeholder analysis and social network model: An industrial ecology perspective,” *Ecol. Modell.*, vol. 337, pp. 63–72, 2016, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2016.06.006.
- [4] FAO, “El desperdicio de alimentos daña al clima, el agua, la tierra y la biodiversidad,” *Roma*, 2013, [Online]. Available: <http://www.fao.org/news/story/es/item/196368/>.
- [5] B. Reutter, P. Lant, J. Lane, C. Reynolds, and C. Reynolds, “Food waste consequences: Environmentally extended input-output as a framework for analysis,” *J. Clean. Prod.*, vol. 153, pp. 506–514, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.104.
- [6] A. Cerda, A. Artola, X. Font, R. Barrena, T. Gea, and A. Sánchez, “Composting of food wastes: Status and challenges,” *Bioresour. Technol.*, vol. 248, pp. 57–67, 2018, doi: 10.1016/j.biortech.2017.06.133.
- [7] Z. X. Keng *et al.*, “Community-scale composting for food waste: A life-cycle assessment-supported case study,” *J. Clean. Prod.*, vol. 261, p. 121220, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121220.
- [8] S. Pai, N. Ai, and J. Zheng, “Decentralized community composting feasibility analysis for residential food waste: A Chicago case study,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 50, no. June, p. 101683, 2019, doi: 10.1016/j.scs.2019.101683.
- [9] V. Banegas, J. L. Moreno, J. I. Moreno, C. García, G. León, and T. Hernández, “Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust,” *Waste Manag.*, vol. 27, no. 10, pp. 1317–1327, 2007, doi: 10.1016/j.wasman.2006.09.008.

- [10] NMX-AA-026-SCFI-2001, “Análisis De Agua - Determinación De Nitrógeno Total Kjeldahl En Aguas Naturales , Residuales Y Residuales Tratadas - Método De Prueba,” *D. Of. la Fed.*, pp. 2–16, 2001.
- [11] SECOFI, “NMX-AA-029-SCFI-2001-Análisis de aguas - determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba,” *D. Of. la Fed.*, p. 21, 2001.
- [12] SECOFI, “Nmx-Aa-021-1985,” *Secr. Comer. y Fom. Ind.*, 1985.
- [13] D. O. de la F. DOF, “NMX-AA-051-SCFI-2016. Análisis de agua . -Medición de metales por absorción atómica en aguas naturales. Método De Prueba,” *Norma Mex.*, pp. 1–44, 2016, [Online]. Available: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-051-scfi-2016.pdf>.
- [14] SEMARNAT, “Nom-004-Semarnat-2002,” *D. Of.*, p. 66, 2003, [Online]. Available: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NormasOficialesMexicanas.pdf%5Cnhttp://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997.
- [15] T. Głab *et al.*, “Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil,” *Geoderma*, vol. 315, no. February 2017, pp. 27–35, 2018, doi: 10.1016/j.geoderma.2017.11.034.

Preparación de materiales compuestos bio-inspirados a partir de residuos de cáscaras de toronja para su uso en la detección de trazas de plata presentes en el agua

¹ Jaime García-Melendrez, ¹ Walter M. Warren-Vega, ¹ Ana I. Zárate-Guzmán, ² Francisco Carrasco-Marín, ³ Linda V. González-Gutiérrez, ^{1,*} Luis A. Romero-Cano

¹ Grupo de Investigación en Materiales y Fenómenos de Superficie. Departamento de Biotecnológicas y Ambientales. Universidad Autónoma de Guadalajara. Av. Patria 1201, C.P. 45129. Zapopan, Jalisco, MÉXICO

* Tel: 33 3648 8824 email: luis.cano@edu.uag.mx

² Grupo de Investigación en Materiales de Carbono. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Av. Fuente Nueva s/n. C.P. 18071. Granada, ESPAÑA

³ Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S. C. (CIDETEQ). Parque Tecnológico Sanfandila, C.P. 76070. Pedro Escobedo, Querétaro, MÉXICO

Resumen

El presente trabajo de investigación muestra el diseño de materiales compuestos de bajo costo, preparados a partir de residuos de cáscaras de toronja, para su uso como electrodos en la detección de trazas de plata presentes en el agua. El material activo (cáscaras de toronja) fue funcionalizado con grupos nitrogenados empleando urea o melamina. Con el objetivo de diseñar electrodos económicos, se realizó un diseño de experimentos tipo Taguchi L9 para determinar las mejores condiciones de preparación (Tipo de agente para funcionalizar y relación óptima de polvo de grafito/material activo) que otorgan la mejor respuesta electroquímica. Las relaciones evaluadas fueron 80:20, 60:40, y 40:60 w/w.

La mejor respuesta electroquímica se obtuvo con una relación 80:20 del material activo funcionalizado con urea. Debido a la introducción de grupos amino después de la funcionalización, la conductividad eléctrica del material compuesto mejoró debido a su carácter básico. Los voltamperogramas cíclicos mostraron dos picos a 0.00 y 0.41 V (vs. MSE), atribuidos a las reacciones de reducción y oxidación de los iones Ag^+ unidos a grupos amino ($\text{R-NH}_2\text{Ag}^+$). La detección del metal se realizó mediante voltamperometría de pulso diferencial. A partir de la corriente máxima, se construyó la curva de calibración del electrodo. Los resultados mostraron un límite de detección de $1.8 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$ y un rango lineal de 6.5×10^{-8} a $2.8 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$.

Palabras Clave: Cáscaras de toronja, Detección de Plata en solución, Electrodos de pasta de carbono.

1. Introducción

La contaminación de cuerpos de agua debido a la presencia de metales pesados ha afectado la vida de la sociedad en años recientes. De entre todos los metales que han sido detectados en efluentes y cuerpos de agua, la plata resulta ser uno de los más importantes debido a su elevado uso industrial y toxicidad. Su aplicación abarca desde procedimientos en la industria química, la medicina, la joyería, la siembra de nubes y la desinfección interna del agua potable [1], [2]. Debido a las estrictas regulaciones ambientales, se requieren métodos analíticos más eficientes para medir las concentraciones de este metal a niveles de trazas. Por lo tanto, se han desarrollado varias técnicas analíticas para cuantificarlo, tales como: espectrometría de masas, análisis de activación de neutrones, espectrometría de absorción atómica, electrodo selectivo de iones, espectrometría de emisión y métodos electroquímicos que implican la voltamperometría de pulso diferencial (DPV, por sus siglas en inglés) [3] – [5]. Dentro de las técnicas mencionadas, resaltan los métodos electroquímicos que utilizan electrodos selectivos al analito de interés, debido a su aplicabilidad en dispositivos móviles. Si bien los resultados obtenidos con distintos electrodos han sido satisfactorios, los materiales y tratamientos utilizados durante su preparación encarecen su

fabricación, ya que son materiales funcionales sofisticados cuya síntesis y preparación requiere múltiples pasos o un tedioso diseño experimental [6] – [10].

Una estrategia innovadora para el diseño de electrodos de bajo costo es aprovechar materias primas biológicas que son considerados residuos sólidos en la industria, ya que, de manera directa o indirecta, facilitan la síntesis de materiales compósitos al saltarse complejos procesos de funcionalización. Esta estrategia a dado lugar a materiales conocidos como *bio-inspirados* [11] – [13]. Estos residuos pueden ser materiales carbonosos económicos y abundantes, tales como cáscaras de cítricos, los cuales presentan graves problemas para su disposición final dentro de la industria alimentaria debido a los grandes volúmenes que representan, se estima que se generan 38.2 millones de toneladas de estos residuos al año [14]. De tal forma que utilizarlos permitiría una reducción en los costos de fabricación de electrodos selectivos para la detección de metales presentes en el agua. Estos residuos están compuestos mayoritariamente de celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que poseen una gran cantidad de grupos funcionales oxigenados, los cuales pueden ser utilizados como sitios de anclaje para adicionar funcionalidades que permitan hacer selectivo el material para la detección de plata en solución [15], [16]. A través de esta estrategia es posible obtener materiales activos de forma fácil y con una preparación mínima de la muestra.

Tomando en cuenta lo anterior, en el presente trabajo de investigación se han diseñado Electrodos de Pasta de Carbono (EPC) de bajo costo preparando materiales compósitos con diferentes relaciones de polvo de grafito/material activo a fin de encontrar la formulación adecuada que otorgue la mejor respuesta electroquímica empleando la menor cantidad de grafito posible. Como material activo se emplearon cáscaras de toronja funcionalizadas con grupos amino, debido a que estos presentan una alta afinidad por el catión Ag^+ , lo que otorgará una mejora sustancial en los límites de detección del metal. Estudios previos realizados por Romero-Cano y col., [15], [16]. demostraron que estas modificaciones químicas incrementan considerablemente la capacidad de adsorción del ion Ag(I) presente en solución acuosa, debido a que estos grupos sirven como sitios de anclaje del metal. Es por esta razón, que en el presente trabajo se estudió cuál de estos métodos de modificación química es el más apto para realizar la detección de Ag(I) .

2. Metodología

2.1 Material activo

El material activo utilizado en la preparación de los EPC fueron cáscaras de toronja (*Citrus x paradisi*) funcionalizadas con grupos amino empleando urea o melamina. La funcionalización de los materiales consistió en secar las cáscaras a 110 °C en un horno convencional, la muestra obtenida se denominó como GP (Grapefruit Peels). Posteriormente, se utilizó urea (para introducir grupos $-\text{NH}_2$ y $-\text{NH}$) y melamina (para introducir grupos $-\text{NH}$ y $-\text{C-N}$). En el caso de las cáscaras modificadas con urea, se modificaron 5 g de GP con 10 g de urea (muestra GP-U). Por otro lado, para los materiales modificados con melamina, la relación utilizada fue 5 g de GP con 0.35 g de melamina (muestra GP-M). La funcionalización se realizó mediante la técnica de impregnación húmeda incipiente empleando un tratamiento térmico a 200 °C por 2 horas en atmósfera de nitrógeno.

2.2 Preparación de Electrodos de Pasta de Carbono

La preparación de los EPC consistió en la mezcla de polvo de grafito y el material activo usando aceite de silicona como aglutinante. Hasta la fecha no existe una metodología fija establecida para la preparación de EPC, cada grupo de investigación tiene su propia experiencia [16], [17]. Para su preparación, el material activo se molió finamente y se mezcló con polvo de grafito de alta pureza (Alfa Aesar), utilizando aceite de silicona como aglutinante (Sigma-Aldrich). En un primer paso, los sólidos se mezclaron y

posteriormente se añadió el aceite. Después de la homogeneización, el material compuesto se empaquetó en tubos de polipropileno (orificio de 3 mm, espesor de pared de 3 mm) y se puso en contacto con un alambre de cobre insertado en el tubo. La superficie expuesta se pulió sobre una hoja de papel (rugosidad $4.0 \pm 0.4 \mu\text{m}$) hasta que se observó una superficie brillante. Los electrodos se usaron 1 día después de su preparación para completar la homogeneización. Antes de cada medición, la superficie del electrodo se renovó, empujando un exceso de pasta fuera del tubo, y la superficie se alisó frotándola sobre una hoja de papel.

Con el fin de obtener electrodos de bajo costo, se llevaron a cabo estudios para determinar la relación óptima de polvo de grafito/material activo necesaria para obtener una buena respuesta electroquímica. Para este propósito, se evaluó la relación: 80:20 (electrodos: *EPC-GP1*, *EPC-GPU1*, *EPC-GPM1*), 60:40 (electrodos: *EPC-GP2*, *EPC-GPU2*, *EPC-GPM2*) y 40:60 (electrodos: *EPC-GP3*, *EPC-GPU3*, *EPC-GPM3*), ver Tabla 1. Además de los electrodos anteriormente descritos, se preparó un EPC como blanco en el experimento, el cual solamente consistió en grafito y aceite de silicona (electrodo *EPC*).

2.3 Análisis electroquímico

La evaluación electroquímica de los EPC se llevó a cabo utilizando un potencióstato/galvanostato AUTOLAB PGSTAT 101 utilizando el software NOVA 2.0. El análisis de los datos experimentales se realizó utilizando el software STATISTICA 10.0 (StatSoft). Todos los estudios se llevaron a cabo en una celda sin división (15 mL) de tres electrodos, usando un electrodo de Mercurio-Sulfato Mercuroso (MSE) como electrodo de referencia, un alambre de platino como contraelectrodo y un EPC como electrodo de trabajo. Antes de cada análisis, se burbujeó nitrógeno en la celda durante 10 minutos y la atmósfera se mantuvo durante el experimento. Las soluciones utilizadas fueron: i) una solución de Ag(I) preparada a partir de AgNO_3 (JT Baker) y ii) una solución 1M de KNO_3 (JT Baker) como electrolito de soporte. Todas las soluciones de AgNO_3 se protegieron de la luz ambiental para evitar la precipitación de plata en la solución. Todos los experimentos se realizaron a temperatura ambiente (25°C) y sin control de pH ($\text{pH} = 6 \pm 0.2$).

2.3.1 Voltamperometría Cíclica

Los estudios de voltamperometría cíclica se realizaron utilizando KNO_3 1 M (libre de plata) y una solución de 100 mg de L^{-1} de Ag(I) en KNO_3 1M, en agitación constante. Las condiciones experimentales fueron: una ventana de potencial de -0.6 a 0.8 V (vs. MSE), un potencial de inicio y finalización de 0.0 V (vs. MSE) y se realizaron 5 ciclos a una velocidad de exploración de 50 mV s^{-1} .

2.3.2 Voltamperometría de Pulso Diferencial

La técnica de DPV se utilizó para estudiar la detección electroquímica de plata en una solución electrolítica de KNO_3 0.1 M. Para suprimir las corrientes de fondo indeseables dentro del rango de potencial de trabajo y mejorar la sensibilidad del electrodo, se aplicó un potencial de pretratamiento de -0.3 V (vs. MSE) durante 10 s en una solución libre de plata. Posteriormente, el electrodo se transfirió a una solución electrolítica que contenía plata y se aplicó una etapa de deposición con un potencial de reducción de -0.3 V (vs. MSE) durante 180 s en agitación constante, para reducir todos los iones de Ag^+ pre-concentrados en la superficie de los EPC, seguido de la recopilación del voltamperograma de pulso diferencial anódico escaneando de 0.2 a 0.6 V (vs. MSE) a una velocidad de 20 mV s^{-1} , empleando una amplitud de pulso de 100 mV y un período de pulso de 2.0 ms. Las condiciones experimentales se establecieron a partir de estudios preliminares donde se evaluó la variación de la corriente máxima obtenida al cambiar la amplitud del pulso y los parámetros del período.

Tabla 1. Diseño experimental tipo Taguchi L9 para evaluar las condiciones óptimas de preparación de electrodos de pasta de carbono de bajo costo

Electrodo	Nivel		Respuesta	
	Tipo de material activo	Material activo (%)	Corriente del pico de oxidación (mA)	Resistencia (Ω)
EPC-GP1	GP	20	12.48 ± 0.72	0.47 ± 0.04
EPC-GP2	GP	40	5.93 ± 0.49	0.65 ± 0.06
EPC-GP3	GP	60	0.00 ± 0.00	1.45 ± 0.12
EPC-GP-U1	GP-U	20	40.39 ± 2.19	0.09 ± 0.01
EPC-GP-U2	GP-U	40	4.20 ± 0.31	0.11 ± 0.01
EPC-GP-U3	GP-U	60	0.00 ± 0.00	4.00 ± 0.32
EPC-GP-M1	GP-M	20	4.39 ± 0.19	2.00 ± 0.16
EPC-GP-M2	GP-M	40	0.00 ± 0.00	8.65 ± 0.70
EPC-GP-M3	GP-M	60	0.00 ± 0.00	16.00 ± 1.28

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización física de los EPC

La preparación de los EPC es totalmente manual, incluso llegando a ser considerada por algunos autores como artesanal, por lo que la mayor parte de la caracterización física se basa en aspectos cualitativos. En el presente estudio, todos los electrodos presentaron buena textura, con una densidad similar a la crema de cacahuete, a excepción de *EPC-GPM3*, que presentó una textura más blanda. En cuanto al aspecto de la superficie, a medida que se incrementó la cantidad de material activo en el composito éste comenzó a ser más irregular, a pesar del pulido realizado previo a cada uno de los estudios electroquímicos.

Con el objetivo de estudiar los cambios en la conducción eléctrica de los EPC se estudió su resistencia eléctrica. Estos estudios se realizaron con un multímetro marca Etekcity modelo *MSR-R500*, para lo cual se colocó un alambre de cobre en cada extremo del EPC dejando 1 cm de espesor del composito al centro, cada uno de los extremos se colocó a una de las terminales del multímetro y se tomó la lectura. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1. El EPC preparado únicamente con grafito mostró una resistencia de 0.08Ω , como era de esperarse la inclusión del material activo incrementó la resistencia del composito, debido a que es un material no conductor. Sin embargo, se aprecia que las funcionalidades agregadas al material tienen un efecto directo en esta propiedad.

Al incorporar el material no funcionalizado (*GP*), la resistencia del EPC cambio a 0.47 , 0.65 y 1.45Ω , para 20, 40 y 60 % en peso, respectivamente. Sin embargo, al incorporar el material funcionalizado con urea (*GPU*) estas resistencias solamente se ven modificadas a 0.11Ω , al incorporar 20 y 40 % en peso, y a 4.00Ω al incorporar 60 % en peso. Este efecto puede explicarse debido a que los grupos amino, agregados al material durante la funcionalización, mejoran la conductividad eléctrica debido a su carácter básico, tal como ha sido puesto de manifiesto en otras aplicaciones electroquímicas como celdas de combustible, baterías ion-sodio o súper condensadores [18] – [21]. En cambio, al agregar el material funcionalizado con melamina existe un cambio abrupto en la resistencia del composito, ya que se obtienen valores en el rango

de 2.00 a 16.00 Ω , los cuales pueden ser atribuidos a que la funcionalización de los materiales no se ha logrado de manera homogénea, existiendo por tanto funcionalidades ácidas y básicas en el material [16].

3.2 Estudios de voltamperometría cíclica

El voltamperograma cíclico del EPC preparado únicamente a partir de grafito inmerso en una solución de 100 mg L⁻¹ de Ag⁺ empleando KNO₃ 1 M como electrolito soporte, no presentó ninguna señal definida evidenciando que el grafito no es capaz de detectar la presencia del metal. Sin embargo, una vez que el EPC es modificado con el material activo, se aprecian cambios significativos. La Figura 1 muestra los voltamperogramas obtenidos para los EPC inmersos en una solución de KNO₃ 1 M libre de plata (líneas punteadas), para ninguno de los electrodos se observó alguna señal bien definida, por lo que es posible descartar cualquier oxidación de la materia orgánica u otro contenido presente en los EPC construidos empleando cáscaras de toronja funcionalizadas. En cambio, una vez que estos fueron inmersos en una solución de 100 mg L⁻¹ de Ag(I) empleando KNO₃ 0.1 M como electrolito soporte (líneas continuas), se aprecia la detección del metal.

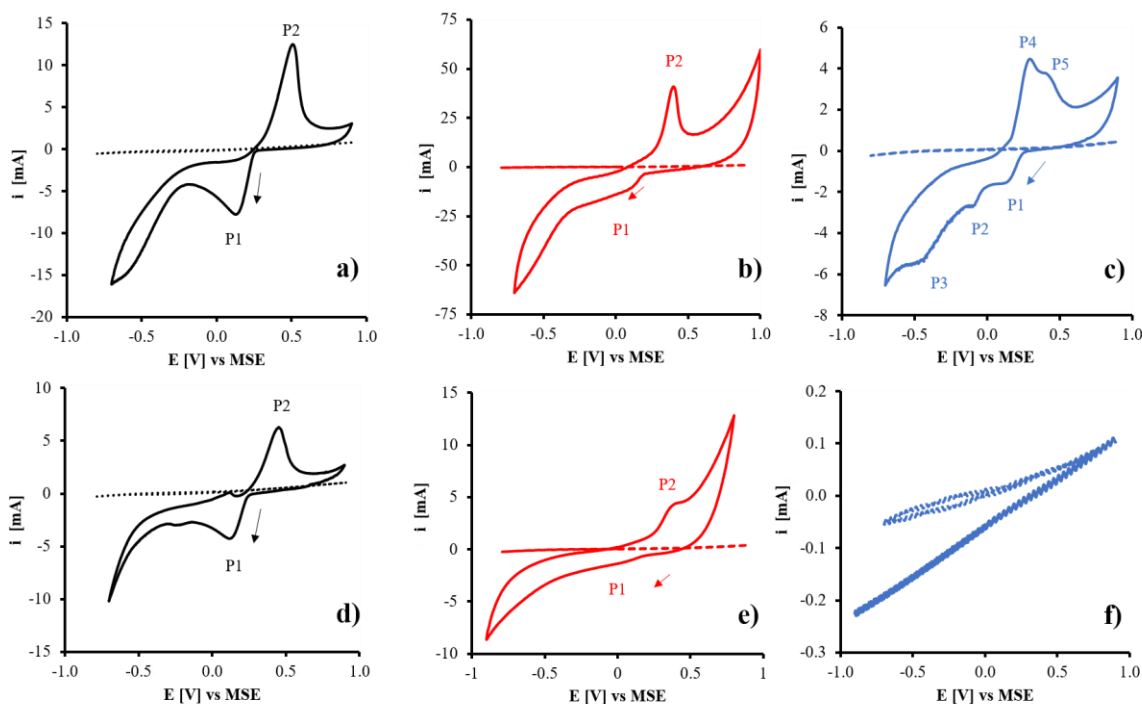


Figura 1. Voltamperogramas cíclicos de los EPCs en presencia (línea continua) y ausencia de Ag(I) (línea discontinua) utilizando una solución 0.1 M de KNO₃ como electrolito soporte. Velocidad de escaneo 50 mV s⁻¹ (sentido negativo). Electrodo: a) EPC-GP1, b) EPC-GPU1, c) EPC-GPM1, d) EPC-GP2, e) EPC-GPU2 y f) EPC-GPM2

Para el EPC-GP1 (Figura 1a) se aprecian dos señales. El pico 1 a 0.13 V (vs. MSE) puede ser atribuido a la reducción de Ag⁺ a Ag⁰, la cual ha sido anclada en grupos -COOH y -NH₂ [15]. Mientras que el pico 2, con una corriente de pico asociada de 12.48 ± 0.72 mA 0.52 V (vs. MSE) se atribuye a la oxidación de Ag⁰. Por otro lado, en el EPC-GPU1 (Figura 1b) se observan las mismas señales, las cuales pueden ser atribuidas a las mismas reacciones de oxidación-reducción, sin embargo, es importante destacar que la corriente de pico asociada a P2 corresponde a 40.39 ± 2.19 mA (cuatro veces mayor a la obtenida para EPC-GP1), así también, las señales han sido desplazadas: el P1 se muestra a 0.0 V (vs. MSE), mientras

que el P2 se ha movido a 0.41 V (vs. MSE). Este efecto puede ser atribuido a la modificación de la química superficial del material debido al tratamiento con urea, ya que el material es más homogéneo y los grupos funcionales que participan como sitios de anclaje del ion Ag son principalmente -NH_2 . Finalmente, un caso especial ocurre con el electrodo *EPC-M* (Figura 1c), en cuyo voltamperograma se observan 3 picos de reducción, el primero de ellos (P1) al mismo potencial que ocurre para *EPC-GP* 0.13 V (vs. MSE), mientras que P2 y P3 ocurren a potenciales más negativos -0.09 y -0.43 V (vs. MSE), indicando que en la superficie del material existen otros dos sitios de adsorción energéticamente diferentes donde se encuentran adsorbido iones Ag [16], [22]. Posteriormente cuando el barrido de potencial cambia a sentido catódico se aprecian dos señales de reducción: P4 a 0.31 V y P5 a 0.41 V (vs. MSE), los cuales son atribuidos a la reducción del ion Ag anclado en los diferentes sitios de adsorción. Se atribuye que la tercera señal de reducción esperable no es perceptible en el voltamperograma debido a la ventana de potencial utilizada durante el experimento.

Los voltamperogramas obtenidos para los electrodos preparados con una relación 60:40 se muestran en las Figuras 1d, 1e y 1f. Para los materiales *GP* y *GPU* se observan las mismas señales de oxido-reducción, sin embargo, las corrientes de pico asociadas son menores. No así para el electrodo *EPC-GPM2*, en el cual no es posible apreciar ninguna señal. Un efecto importante para destacar en estos electrodos es el comportamiento de los voltamperogramas, el cual es más evidente para el electrodo *EPC-GPM2* (Figura 1f), se aprecia que existen fluctuaciones continuas de la corriente, debido a lo cual las líneas no son suaves tal como las observadas para los electrodos preparados con una relación 80:20. Este efecto puede atribuirse al incremento en la resistencia de los materiales, tal como ha sido discutido en la sección anterior.

Por otra parte, los estudios realizados para los electrodos preparados con una relación 40:60 no presentaron ninguna respuesta electroquímica, es por esta razón que no se incluyen resultados de esta serie de electrodos. Debido a la alta resistencia que presentaron fue necesario incrementar la corriente aplicada por el potenciostato durante las pruebas, teniendo como resultado la desintegración del material composito.

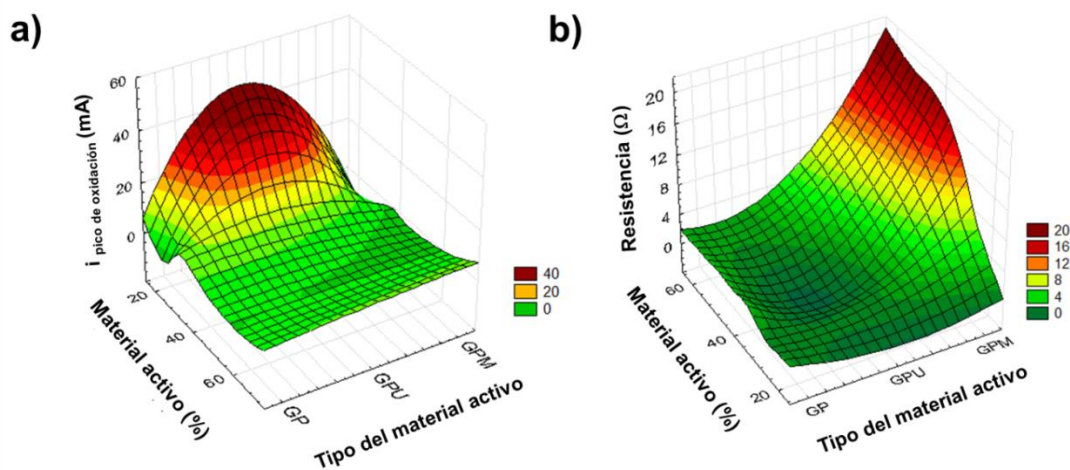


Figura 2. Curvas de superficie de respuesta para el estudio de: a) La maximización de la corriente del pico de oxidación, b) minimización de la resistencia eléctrica de los electrodos.

Con el objetivo de determinar las condiciones de preparación que otorgan un EPC con una buena respuesta electroquímica se construyeron las superficies de respuesta que se muestran en la Figura 2. Las variables de respuesta estudiadas fueron la corriente de pico asociada al proceso de oxidación (Figura 2a) y la resistencia eléctrica del material (Figura 2b). La corriente de pico presenta una curvatura

característica, en la cual podemos observar que la maximización de la respuesta se encuentra para el material *GPU* en una relación de 80:20 en peso. Lo cual se encuentra directamente ligado a la resistencia eléctrica del material, ya que para esta condición se encuentra la minimización de esta variable. Teniendo en cuenta lo anterior, se seleccionó este electrodo para realizar las pruebas de voltamperometría de pulso diferencial para obtener los parámetros analíticos para la detección de plata en solución.

3.3. Voltamperometría diferencial de pulso

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3. En esta se observan los resultados obtenidos a diferentes concentraciones del metal en solución, en las cuales la respuesta voltamperométrica es lineal (0 a 30 mg L⁻¹). La línea gris corresponde al DPV obtenido sin presencia del metal, por lo que no existe ninguna señal asociada. A partir de la línea negra (7 µg L⁻¹) se comienza a observar una señal a 0.4 V (vs. MSE) atribuible a la presencia del metal. A partir de esta concentración la corriente del pico comienza a incrementar proporcionalmente con respecto a la concentración de Ag(I) en solución.

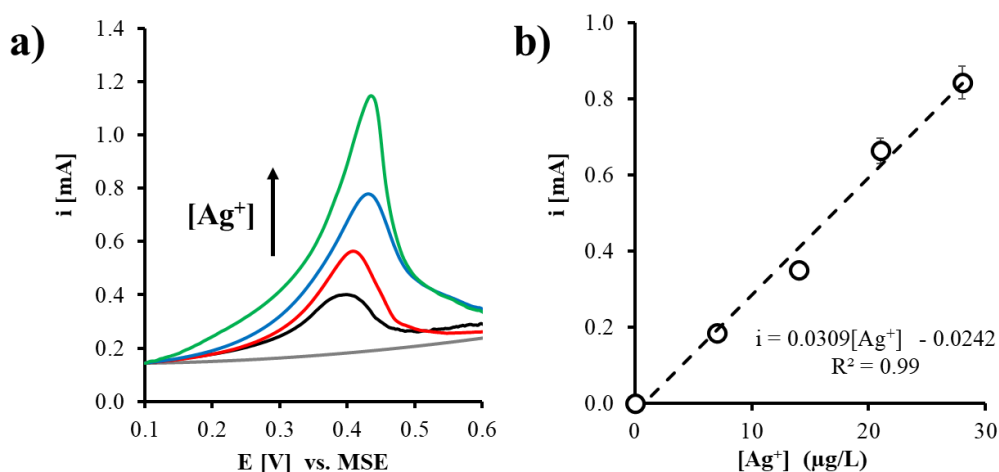


Figura 3. a) Respuesta voltamperométrica del electrodo EPC-GPU1 a diferentes concentraciones de Ag(I), 0–30 µg L⁻¹ empleando 0.1 M KNO₃ como electrolito soporte. Condiciones de operación: Barrido en sentido anódico con una ventada de potencial de 0.2 V a 0.6 V (vs. MSE), velocidad de escaneo 50 mV s⁻¹, potencial de pretratamiento -0.3 V (vs. MSE) durante 180 s, temperatura 25 °C, las soluciones se saturaron con nitrógeno previo a cada análisis. b) Curva de calibración para la detección electroquímica de plata en solución en el rango de concentraciones estudiadas.

A partir de una concentración 30 µg L⁻¹ hasta 100 µg L⁻¹ el incremento en la intensidad de la corriente comienza a ser despreciable. De la información anterior se construyó la Figura 3b, en la cual se muestra el rango confiable para la técnica analítica (0 a 30 µg L⁻¹) con una R² = 0.99. Para concentraciones entre 30 hasta 100 µg L⁻¹ aún es posible apreciar una tendencia lineal, sin embargo, los datos experimentales no garantizan una exactitud en la medición (R² = 0.95). De tal forma que la determinación de trazas de plata en solución es posible mediante el uso de este electrodo de pasta de carbono a partir de la ecuación (1):

$$[Ag]_{\mu g/L} = 0.0309 i_{mA} - 0.0242 \quad (1)$$

Por otra parte, al comparar el rango confiable del electrodo *EPC-GPU1* contra los límites de cuantificación establecidos para las técnicas de espectrometría de absorción atómica (3 µg L⁻¹), que son los métodos analíticos más utilizados para la detección de plata en agua [23], la viabilidad del uso del material propuesto como electrodo para ser utilizado en un dispositivo móvil para detección de metales se hace evidente. Teniendo en cuenta los costos de los materiales y las respuestas electroquímicas obtenidas, el material presentado en este trabajo de investigación se destaca como una opción viable para ser

utilizado en procesos industriales para la determinación de este metal *in situ*, de tal manera que durante la operación sería posible realizar acciones inmediatas para evitar daños en el proceso y posibles daños ecológicos.

4. Conclusiones

Se prepararon EPC de bajo costo a partir de materiales compuestos bio-inspirados a partir de cáscaras de toronja. Los grupos oxigenados presentes en las cáscaras, debido a su composición celulósica, sirvieron como sitios de anclaje para grupos amino, los cuales disminuyen la resistencia eléctrica del material y le otorgan propiedades electroquímicas específicas debido a su carácter básico.

Las condiciones óptimas para la preparación de los EPC fueron una relación 80:20 de polvo de grafito / material activo modificado con urea. Los estudios de DPV mostraron una señal a 0.4 V (vs. MSE) asociada a la oxidación de Ag(I) enlazada en los grupos amino presentes en la superficie del electrodo (R-NH₂Ag⁺). La señal aumenta linealmente con respecto al aumento en la concentración de plata, lo que evidencia la viabilidad de utilizar el EPC para detectar el metal en solución.

Referencias Bibliográficas

- [1] Purcell, T.W., Peters, J.J., (1998). "Sources of silver in the environment". *Environ. Toxicol. Chem.* 17, 539–546. doi: 10.1002/etc.5620170404
- [2] Drake, P.L., Hazelwood, K.J., (2005). "Exposure-related health effects of silver and silver compounds: A review". *Ann. Occup. Hyg.* 49, 575–585. doi: 10.1093/annhyg/mei019
- [3] Estrada-Aldrete, J., Hernández-López, J.M., García-León, A.M., Peralta-Hernández, J.M., Cerino-Córdova, F.J., (2020). "Electroanalytical determination of heavy metals in aqueous solutions by using a carbon paste electrode modified with spent coffee grounds". *J. Electroanal. Chem.* 857, 113663. doi: 10.1016/j.jelechem.2019.113663
- [4] Li, N.B., Luo, H.Q., Chen, G.N., (2004). "Differential pulse anodic stripping voltammetric determination of traces of copper with a tobramycin-nafion modified electrode". *Anal. Sci.* 20, 825–829. doi: 10.2116/analsci.20.825
- [5] Bansod, B.K., Kumar, T., Thakur, R., Rana, S., Singh, I., (2017). "A review on various electrochemical techniques for heavy metal ions detection with different sensing platforms". *Biosens. Bioelectron.* 94, 443–455. doi: 10.1016/j.bios.2017.03.031
- [6] Jahandari, S., Taher, M.A., Fazelirad, H., Sheikhshoai, I., (2013). "Anodic stripping voltammetry of silver(I) using a carbon paste electrode modified with multi-walled carbon nanotubes". *Microchim. Acta* 180, 347–354. doi: 10.1007/s00604-012-0935-x
- [7] Li, Y.H., Xie, H.Q., Zhou, F.Q., (2005). "Alizarin violet modified carbon paste electrode for the determination of trace silver(I) by adsorptive voltammetry". *Talanta* 67, 28–33. doi: 10.1016/j.talanta.2005.02.009
- [8] Radulescu, M.C., Chira, A., Radulescu, M., Bucur, B., Bucur, M.P., Radu, G.L., (2010). "Determination of silver(I) by differential pulse voltammetry using a glassy carbon electrode modified with synthesized N-(2-aminoethyl)-4,4'-bipyridine". *Sensors* 10, 11340–11351. doi: 10.3390/s101211340
- [9] Raoof, J.B., Ojani, R., Alinezhad, A., Rezaie, S.Z., (2010). "Differential pulse anodic stripping voltammetry of silver(I) using p-isopropylcalix[6]arene modified carbon paste electrode". *Monatshefte für Chemie* 141, 279–284. doi: 10.1007/s00706-010-0258-8

- [10] Švancara, I., Kalcher, K., Diewald, W., Vytřas, K., (1996). "Voltammetric Determination of Silver at Ultratrace Levels Using a Carbon Paste Electrode with Improved Surface Characteristics". *Electroanalysis* 8, 336–342. doi: 10.1002/elan.1140080407
- [11] Ding, M., Chen, G., Xu, W., Jia, C., Luo, H., (2019). "Bio-inspired synthesis of nanomaterials and smart structures for electrochemical energy storage and conversion". *Nano Mater. Sci.* doi: 10.1016/j.nanoms.2019.09.011
- [12] Kim, S.J., Pugal, D., Wong, J., Kim, K.J., Yim, W., (2014). "A bio-inspired multi degree of freedom actuator based on a novel cylindrical ionic polymer-metal composite material". *Rob. Auton. Syst.* 62, 53–60. doi: 10.1016/j.robot.2012.07.015
- [13] Prasad, A., Mahato, K., Chandra, P., Srivastava, A., Joshi, S.N., Maurya, P.K., (2016). "Bioinspired composite materials: applications in diagnostics and therapeutics". *J. Mol. Eng. Mater.* 04, 1640004. doi: 10.1142/s2251237316400049
- [14] Romero-Cano, L.A., González-Gutiérrez, L.V., Baldenegro-Pérez, L.A., Carrasco-Marín, F., (2017). "Grapefruit peels as biosorbent: characterization and use in batch and fixed bed column for Cu(II) uptake from wastewater". *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 92. doi: 10.1002/jctb.5161
- [15] Romero-Cano, L.A., García-Rosero, H., del Olmo-Iruela, M., Carrasco-Marín, F., González-Gutiérrez, L.V., (2018). "Amino-functionalized material from a bio-template for silver adsorption: process evaluation in batch and fixed bed". *J. Chem. Technol. Biotechnol.* doi: 10.1002/jctb.5806
- [16] Romero-Cano, Luis A., García-Rosero, H., del Olmo-Iruela, M., Carrasco-Marín, F., González-Gutiérrez, L. V., (2018). "Use of carbon paste electrodes as a novel strategy to study adsorption mechanism of silver ions onto functionalized grapefruit peel". *J. Electroanal. Chem.* 830–831, 20–26. doi: 10.1016/j.jelechem.2018.10.019
- [17] Romero-Cano, L.A., Zárate-Guzmán, A.I., Carrasco-Marín, F., González-Gutiérrez, L. V., (2019). "Electrochemical detection of copper in water using carbon paste electrodes prepared from bio-template (grapefruit peels) functionalized with carboxyl groups". *J. Electroanal. Chem.* 837, 22–29. doi: 10.1016/j.jelechem.2019.02.005
- [18] Pels, J.R., Kapteijn, F., Moulijn, J.A., Zhu, Q., Thomas, K.M., (1995). "Evolution of nitrogen functionalities in carbonaceous materials during pyrolysis". *Carbon* 33, 1641–1653. doi: 10.1016/0008-6223(95)00154-6
- [19] Simon, P., Gogotsi, Y., (2008). "Materials for electrochemical capacitors". *Nat. Mater.* 7, 845–854. doi: 10.1038/nmat2297
- [20] Ma, F., Zhao, H., Sun, L., Li, Q., Huo, L., Xia, T., Gao, S., Pang, G., Shi, Z., Feng, S., (2012). "A facile route for nitrogen-doped hollow graphitic carbon spheres with superior performance in supercapacitors". *J. Mater. Chem.* 22, 13464. doi: 10.1039/c2jm32960c
- [21] Ding, J., Wang, H., Li, Z., Kohandehghan, A., Cui, K., Xu, Z., Zahiri, B., Tan, X., Lotfabad, E.M., Olsen, B.C., Mitlin, D., (2013). "Carbon nanosheet frameworks derived from peat moss as high performance sodium ion battery anodes". *ACS Nano* 7, 11004–11015. doi: 10.1021/nn404640c
- [22] Flores-Álvarez, J.M., González, I., García-de la Rosa, L.A., Mancilla-Peña, F., Reyes-Gómez, J., (2011). "Carbon paste electrodes modified with biosolids, soils and biocomposites utilized to study the interaction between organic matter and copper". *J. Environ. Manage.* doi: 10.1016/j.jenvman.2010.08.033
- [23] Karimi, M.A., Mohammadi, S.Z., Mohadesi, A., Hatefi-Mehrjardi, A., Mazloun-Ardakani, M., Sotudehnia Korani, L., Askarpour Kabir, A., (2011). "Determination of silver(I) by flame atomic absorption spectrometry after separation/preconcentration using modified magnetite nanoparticles". *Sci. Iran.* 18, 790–796. doi: 10.1016/j.scient.2011.06.008

Re-fermentación de sólidos gastados de la digestión anaerobia para la producción adicional de metano

¹Karen Yazmín Moctezuma Parra, ¹Rosa María Espinosa Valdemar, ¹Mariana Mendoza Sánchez, ²Perla Xochitl Sotelo Navarro

¹Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco (UAM-A), Av. San Pablo #180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, Ciudad de México, 5529421753, al2153000574@azc.uam.mx.

²Cátedra-CONACYT-Cinvestav.

Resumen

Se trabajó con los digestatos (sólidos fermentados) obtenidos, por digestión anaerobia, en un experimento previo. Se realizaron cinco mezclas compuestas de distintas proporciones de: los sólidos fermentados, lodo procedente de un tratamiento fisicoquímico de agua residual (L), residuos de jardinería (RJ) e inóculo (estiércol de bovino) (I). Las pruebas se realizaron por triplicado, para cada mezcla, en reactores de 1.125 L bajo condiciones mesofílicas (30°C). Se inocularon y se ajustaron a un 20% de sólidos totales (ST) con lodo fisicoquímico, con el objetivo de evaluar la producción y composición del biogás obtenido durante la re-fermentación. Durante el proceso se monitoreó la producción de metano y al finalizar la fase experimental se determinaron: cambios fisicoquímicos (pH, ST, sólidos volátiles (SV), relación C/N, humedad, fitotoxicidad, metales traza (aluminio, cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y zinc)); pruebas microbiológicas (coliformes totales y fecales, *Salmonella* y huevos de helmintos). Los resultados de rendimientos de metano alcanzado variaron desde 0.0038 hasta los 0.6332 mL/g_{SV}. Reducción de SV debido a la digestión de materia orgánica, así como una concentración mayor de los metales traza. Los digestatos obtenidos luego de la re-fermentación presentaron valores de pH entre 6.5 y 8, una conductividad menor a 4 dS/m, una relación C/N menor a 25 y un índice de germinación (IG) superior al 85%, además de una menor carga de coliformes y una consistencia más homogénea que la inicial.

130

Palabras Clave: *biogás, digestión anaerobia, sólidos fermentados, metano.*

1. Introducción

Los sólidos fermentados, generados como residuo de la digestión anaerobia, poseen características favorables en comparación con el sustrato inicial, como reducción de malos olores, consistencia homogénea, reducción de microorganismos patógenos y mayor contenido de nutrientes a causa de la estabilización que se lleva a cabo [1]. Como producto principal de la estabilización se obtiene biogás y se reducen la contaminación por patógenos y los compuestos bioquímicos lo que mejora la calidad sanitaria de los sólidos fermentados.

Estas características permiten que los sólidos fermentados se empleen como mejoradores de suelos, ya sea de forma directa o después de pasar por un proceso de separación sólido-líquido (centrifugación, evaporación, peletizado, etc.) para aumentar su eficacia [2]. Sin embargo, algunos sólidos fermentados no se digieren completamente, por lo que una alternativa de su uso es una re-fermentación que permita la producción adicional de biogás y por tanto mejor estabilización y aprovechamiento del producto final.

Su aprovechamiento como la base de un producto de alto valor añadido, como el biogás, permitirá cerrar el ciclo de los nutrientes, reducirá emisiones de gases de efecto invernadero, mejorará la economía de las plantas productoras de biogás y contribuirá a resolver un problema ambiental en beneficio de la sociedad y el entorno [3].

En México se han identificado, cerca de 966 sistemas de biodigestión patrocinados por proyectos relacionados con la reducción de emisiones como Project Design Document (PDD), proyectos bajo la iniciativa Metano a Mercados (M2M) para comercialización de bonos de carbono y proyectos en el sector agropecuario que son apoyados por el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) [4]. Todos estos sistemas de biodigestión se alimentan principalmente con residuos orgánicos procedentes del sector ganadero, plantas de tratamiento de aguas residuales y rellenos sanitarios. A pesar de que se ha demostrado que los sólidos fermentados poseen características favorables, gracias a la estabilización a la que son sometidos, su uso dentro del país no es común.

La UAM-A ha desarrollado en sus instalaciones proyectos de investigación que involucran la digestión anaerobia de residuos orgánicos como lodos fisicoquímicos y residuos de jardinería. A los sólidos fermentados resultantes no se les da un tratamiento posterior y terminan desechándose, debido a que no presentan una degradación completa.

Para esta investigación se utilizaron sólidos fermentados obtenidos de una digestión anaerobia previa, en la cual se emplearon residuos de jardinería mezclados con lodos fisicoquímicos, denominados así porque se generan en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales (PPTAR) de la UAM-A, que emplea un método fisicoquímico.

El propósito de la experimentación fue demostrar que es posible una re-fermentación de los sólidos mencionados. La re-fermentación es una segunda digestión de los sólidos ya fermentados, o postratamiento, para evaluar la producción y composición del biogás y así comprobar si su reincorporación al proceso de digestión dentro de las plantas de producción de biogás aumentará su eficiencia.

2. Metodología

A continuación, se describe la metodología desarrollada para cumplir con los objetivos planteados.

2.1. Caracterización del inóculo y los sólidos fermentados

Para la investigación se utilizaron los productos finales de los sólidos fermentados (SF) obtenidos en un experimento anterior, previamente secados a temperatura ambiente. Estos sólidos estaban compuestos de lodo fisicoquímico (L), residuos de jardinería (RJ) e inóculo (I) en las proporciones L80I20, RJ100, RJ80I20, L50RJ50 Y L40RJ40I20, obteniendo 5 tipos de SF. Como inóculo se utilizó estiércol bovino, el inóculo y cada sólido fermentado se caracterizó por separado.

La humedad, sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), materia orgánica (MO) y cenizas se determinaron de acuerdo con lo descrito en los protocolos de Standard Methods APHA 2540 [5]. El pH y la conductividad se determinaron por el método potenciométrico [6]. El nitrógeno total se midió de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 [7]. El carbono total se calculó a partir de la MO y la relación C/N se calculó a partir de la MO y el nitrógeno total.

2.2. Preparación de las mezclas

A partir de los resultados de la caracterización, se prepararon las mezclas con 10% de inóculo, 90% de sólidos fermentados y se utilizó lodo fisicoquímico fresco para ajustar los ST al 20%. La cantidad de lodo adicionada por kg de muestra se calculó con las ecuaciones 1 a 3:

$$\%ST_{reactor} = \frac{1 \text{ kg de residuo } (\%ST \text{ residuo fresco})}{1 \text{ kg de residuo} + \text{Agua}} \quad (1)$$

$$\%ST_{reactor} = 20 \quad (2)$$

$$Agua = \frac{1 \text{ kg de residuo } (\%ST_{residuo \text{ fresco}} - 20)}{20} \quad (3)$$

La Tabla 1 muestra la cantidad de cada sustrato añadida a cada reactor para la obtención de las mezclas de SF utilizadas en la experimentación.

Tabla 8. Cantidad de cada componente en las mezclas para la experimentación

Volumen del Reactor	Sólidos Fermentados	Sólidos Fermentados [g]	Inóculo [g]	Lodo [L]
1.125 L	RJ80I20	900	100	3.19
	RJ100	900	100	3.05
	L40RJ40I20	900	100	2.77
	L80I20	900	100	3.06
	L50RJ50	900	100	2.71
	I100	-	1000	-

2.3. Montaje de reactores

Los reactores se construyeron empleando porta filtros de 1.125 L de capacidad con agitación mecánica, se les adaptó un salvavidas como sistema de captura de biogás para su posterior cuantificación, así como una válvula de purga para inyectar gas nitrógeno. Se empleó un vial de vidrio sellado, para la caracterización del biogás.

Las mezclas de sólidos fermentados se introdujeron por triplicado en los reactores hasta $\frac{3}{4}$ de su capacidad, adicionalmente se realizó un triplicado conteniendo sólo inóculo (I100), para un total de 18 reactores. Después de llenar los reactores se cerraron herméticamente y se purgaron durante 10 min con gas nitrógeno para garantizar las condiciones de anaerobiosis. Una vez purgados, los reactores se colocaron en un invernadero a 30 °C durante 40 días.

2.4. Caracterización de las mezclas de sólidos fermentados

Las mezclas de sólidos fermentados se analizaron, por triplicado, fisicoquímica y microbiológicamente. Se realizaron las mismas determinaciones que en la caracterización descrita en el apartado 2.1, más la medición de metales traza (aluminio, cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y zinc) y coliformes fecales y totales, de acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002 [8], utilizando el método de digestión ácida para metales traza y el método del número más probable (NMP) para coliformes totales y fecales.

2.5. Monitoreo de la producción de biogás

La composición del biogás producido se analizó tres veces por semana, utilizando un cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies, modelo 7890 B, este equipo cuenta con dos detectores de conductividad térmica y con cinco columnas para identificar gases como el CO₂, O₂, N₂, CH₄, CO e H₂. Se tomaron 5 mL del biogás producido para inyectarse en el equipo. La cantidad de gas contenido en las muestras se determinó empleando curvas de calibración para cada gas analizado.

El biogás almacenado en los salvavidas se cuantificó por medio de un sistema de desplazamiento. El sistema constó de una botella plástica con solución salina saturada y una probeta para medir el líquido desplazado.

2.6. Caracterización de los sólidos fermentados finales

Después de los 40 días de digestión se caracterizaron los sólidos fermentados resultantes. Además de los parámetros analizados anteriormente se incluyeron las siguientes determinaciones: macronutrientes (NPK) por el método de extracción de macronutrientes, fitotoxicidad (IG) por el método descrito en la NADF-020-AMBT-2011 [9], huevos de helminto viables y *Salmonella* según los métodos descritos en la NOM-004-SEMARNAT-2002 [8].

3. Resultados y discusión

Los resultados de la caracterización inicial de los sólidos obtenidos de la digestión anaerobia del estudio realizado previamente se muestran en la Tabla 2, donde se observa que los valores obtenidos de pH para cada sólido fermentado son superiores al pH óptimo (6.5-8) para una digestión anaerobia, lo cual puede deberse a la presencia de residuos de jardinería como uno de los sustratos. Cabe destacar que los altos valores de pH podrían provocar la formación de amoníaco, que inhibe la actividad microbiana y causaría la caída de la actividad metanogénica [10], por lo que se recomendaría adecuar este parámetro. Por esta razón los sólidos fermentados se acondicionaron antes de la re-fermentación utilizando lodos fisicoquímicos para ajustar tanto los ST al 20% como el pH.

Los ST de los sólidos fermentados se encontraron arriba del 80%, valor que indica que no se realizó una degradación completa, por lo que se requirió ajustarlos al 20% para garantizar el correcto desarrollo del proceso. Los sólidos RJ100, RJ80I20 Y L50RJ50 presentaron una relación C/N superior a la recomendada, entre 10 y 30. En el caso del inóculo la relación C/N, los ST y el pH, se encontraron dentro del rango óptimo para la digestión.

Los SV totales fueron superiores al 60 % para cada sólido fermentado, factor que es favorable puesto que el biogás se producirá por cada g de SV destruido.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del inóculo y los sólidos fermentados iniciales

Sólidos fermentados	RJ80I20	RJ100	L40RJ40I20	L80I20	L50RJ50	I100
pH	9.14±1.34	8.29±0.42	8.54±0.29	8.97±0.45	8.21±0.68	7.68±1.21
Conductividad [dS/m]	3.16±0.90	0.92±2.68	3.07±1.38	5.09±3.61	1.60±3.89	1.79±2.17
ST [%]	90.93±1.23	87.69±0.42	81.48±1.85	87.93±2.04	80.34±1.02	19.89±0.64
SV [%]	78.91±2.38	74.99±4.29	64.69±1.02	66.10±1.31	76.71±1.32	82.66±1.74
MO [%]	81.03±2.40	77.26±4.00	66.78±1.40	67.39±1.51	78.35±1.27	83.11±1.48
Humedad [%]	9.07±1.23	12.31±0.42	18.52±1.85	12.07±2.04	19.66±1.02	80.11±0.64
Cenizas [%]	18.59±2.44	22.64±3.93	32.94±1.21	32.01±1.48	21.43±1.27	15.98±1.33
Nitrógeno [%]	1.28±0.10	1.03±0.09	1.17±0.05	1.42±0.11	1.02±0.09	2.14±0.05
Carbono [%]	44.71±4.08	44.81±2.32	36.06±4.66	39.08±0.88	45.45±0.73	48.20±0.86
C/N	34.88±1.75	43.83±3.13	30.77±3.05	27.72±2.44	44.86±3.63	22.52±0.22

Las Tablas 3, 4 y 5 muestran una comparación entre los resultados de las mezclas realizadas con los sólidos fermentados antes y después de que se llevó a cabo la re-fermentación.

La Tabla 3 presenta los resultados de las pruebas fisicoquímicas, donde los valores finales de pH se redujeron acercándose a la neutralidad. Los resultados de pH finales se encuentran entre 7.26 y 7.95, valores que están dentro del rango óptimo para realizar una digestión anaerobia, ya que favorecen la actividad metanogénica. Valores de pH inferiores a 6 causarían una acumulación de ácido acético y H_2 , generando un biogás pobre en metano [10].

La concentración de los sólidos fermentados dentro del reactor provocó que la conductividad final aumentara con respecto a la inicial.

Debido al consumo de ST para la generación de biogás en algunos reactores aumentó la humedad, a excepción de los reactores RJ80I20 Y L80I20, en los que no hubo reducción de ST. Para el reactor RJ80I20 esta nula disminución pudo influir en la baja producción de biogás.

La reducción de SV al final del experimento indica que la fracción biodegradable de los ST, presentes en los sólidos fermentados fue degradada y convertida en biogás. Los porcentajes finales de cenizas aumentaron, esto debido a la disminución de SV que permite que el material inorgánico difícil de degradar se concentre en los sólidos fermentados después de la digestión.

La relación C/N disminuyó por el aumento de carbono y la disponibilidad de nitrógeno. Este aumento de carbono se atribuye al efecto de las bacterias metanogénicas sobre los productos orgánicos simples, dando como resultado productos con un solo átomo de carbono como el metano y el dióxido de carbono, los cuales se liberan en exceso y están disponibles dentro del reactor [11]. El nitrógeno se volvió más disponible al no liberarse como gas a la atmósfera y permanecer atrapado dentro del reactor.

Tabla 3. Comparación de resultados de las pruebas fisicoquímicas finales vs iniciales

		RJ80I20	RJ100	L40RJ40I20	L80I20	L50RJ50	I100
pH	Inicial	8.20±0.77	7.90±0.94	7.83±0.34	8.15±0.32	7.76±0.26	7.68±1.21
	Final	7.95±0.48	7.83±1.18	7.80±0.20	7.86±0.25	7.59±0.40	7.26±1.64
Conductividad [dS/m]	Inicial	0.29±3.36	0.23±3.12	0.36±4.29	0.47±0.33	0.24±1.99	1.79±2.17
	Final	1.02±5.21	0.58±4.97	1.39±1.80	2.16±3.02	0.76±3.08	3.00±4.19
ST [%]	Inicial	23.12±0.25	27.05±0.22	25.22±0.57	18.21±0.90	21.73±1.10	19.89±0.64
	Final	23.25±0.57	20.39±1.33	22.70±0.07	19.81±0.81	18.88±1.20	17.59±0.10
Humedad [%]	Inicial	76.88±2.45	72.95±0.22	74.78±0.57	81.79±0.90	78.27±1.10	80.11±0.64
	Final	76.75±0.57	79.61±1.33	77.30±0.07	80.19±0.81	81.12±1.20	82.41±0.10
SV [%]	Inicial	78.81±0.66	65.59±1.83	66.11±0.59	64.46±0.42	70.07±2.52	82.66±1.74
	Final	69.01±3.63	64.63±1.09	63.89±0.22	60.61±0.86	69.77±1.39	80.94±0.67
MO [%]	Inicial	80.33±1.00	67.16±1.85	67.16±0.39	65.79±0.61	71.79±2.40	83.11±1.48
	Final	70.91±4.01	61.90±0.97	65.86±0.55	61.93±0.26	71.31±1.76	81.84±0.98
Cenizas [%]	Inicial	18.94±0.98	32.32±1.58	31.94±0.41	33.06±0.61	27.64±2.36	15.98±1.33
	Final	28.53±4.02	31.84±1.24	33.53±0.56	36.44±0.58	28.15±1.62	16.36±0.25
Carbono [%]	Inicial	38.96±0.22	38.95±1.07	38.16±0.35	46.59±0.58	41.64±1.39	48.20±0.86
	Final	41.13±2.33	35.90±0.56	38.20±0.32	35.92±0.15	41.36±1.02	47.47±0.57
Nitrógeno [%]	Inicial	1.69±0.10	1.49±0.05	1.84±0.10	1.87±0.09	1.66±0.07	2.14±0.05
	Final	1.78±0.05	1.54±0.11	1.95±0.06	1.89±0.17	1.56±0.05	2.11±0.05
C/N	Inicial	23.14±1.30	26.12±1.08	20.83±1.29	25.00±1.21	25.16±0.23	22.52±0.22

		RJ80I20	RJ100	L40RJ40I20	L80I20	L50RJ50	I100
	Final	23.09±1.49	23.43±2.05	19.59±0.72	19.11±1.92	26.55±0.49	22.49±0.66
IG [%]	Final	142.72 ± 7.86	126.81 ± 9.61	143.76 ± 20.92	83.52 ± 5.84	124.12 ± 10.70	87.31 ± 2.91
mL de biogás		26	64.5	93	123	143	92
mL de biogás/g _{SV}		0.67	1.83	1.41	1.74	2.29	1.41
mL CH ₄ /g _{SV}		0.17	0.20	0.41	0.63	0.28	0.33

La menor producción de biogás se observó en el reactor RJ80I20 y la mayor en el reactor L50RJ50. Los resultados obtenidos permiten descartar una relación entre la cantidad de metano presente y el volumen de biogás producido, ya que el sólido que tuvo la mejor producción de biogás no fue el que tuvo mayor proporción de metano, lo mismo se presentó con el resto de los sólidos fermentados.

En la Tabla 4 se muestran las concentraciones de los metales traza, en la mayoría de los casos la concentración aumentó. Esto se atribuye a la reducción de los SF, por el consumo de materia orgánica para producir biogás.

La concentración de aluminio final es mayor a la inicial, este incremento se atribuye a que la fracción biodegradable de los ST disminuyó gracias a los microorganismos metanogénicos, mientras que el aluminio no se consumió. Se sabe que el sulfato de aluminio presente en los lodos fisicoquímicos afecta la actividad metanogénica [12] y que a concentraciones por arriba de los 250 mg/L el aluminio la inhibe [13], aunque algunos microorganismos pueden adaptarse y sobrevivir en concentraciones menores [14].

Tabla 4. Comparación de los resultados de la medición de metales traza

		RJ80I20	RJ100	L40RJ40I20	L80I20	L50RJ50	I100
Elementos traza [ppm]	Al _i	13466.39± 0.74	24577.92± 2.16	33087.53± 3.56	56752.88± 2.23	42650.44± 0.85	1158.74± 6.20
	Al _f	12737.84± 2.18	20919.18± 3.98	34688.42± 2.54	72063.65± 13.32	51602.938± 1.92	1610.99± 4.33
	Cd _i	0.49±0.49	0.75±37.71	1.98±0.89	1.98±6.23	0.74±35.96	1.34±2.62
	Cd _f	3.09±4.56	3.15±2.77	3.36±6.29	1.57±8.98	3.51±4.84	2.87±4.84
	Cr _i	35.92±0.25	6.21±0.01	24.91±4.81	11.55±3.67	23.17±3.51	6.20±0.01
	Cr _f	19.75±13.02	19.53±3.34	13.61±5.31	7.90±0.36	17.04±3.97	6.22±0.01
	Cu _i	66.16±1.63	44.84±4.21	54.78±0.26	74.07±5.09	64.31±6.89	20.47±11.26
	Cu _f	33.19±9.02	77.39±4.87	51.85±29.32	38.14±7.57	49.86±0.85	29.39±1.32
	Ni _i	12.14±1.60	33.50±7.32	24.15±19.79	55.89±9.87	33.53±9.27	50.31±3.36
	Ni _f	39.16±34.76	12.35±3.71	37.09±45.59	29.31±6.24	13.41±28.02	9.50±5.76
	Pb _i	109.63±3.88	92.39±1.45	39.44±7.15	38.72±2.46	54.05±2.05	62.20±1.22
	Pb _f	72.16±0.68	62.10±1.02	32.21±14.86	31.49±12.01	58.10±8.83	16.99±6.13
	Zn _i	138.93±2.79	80.43±3.34	176.50±1.83	124.31±1.80	147.14±1.50	68.91±0.36
	Zn _f	154.11±1.92	164.18±3.47	188.49±4.58	205.34±2.68	179.94±3.87	188.68±6.16

Al compararse las concentraciones de los metales con los límites establecidos en la NADF-020-AMBT-2011 [9], se observó que todos cumplen con los requisitos para un mejorador de suelo tipo A o B, a excepción del cadmio. Para disminuir los efectos negativos del cadmio se sugiere adicionar sulfato de zinc a los sólidos fermentados para fijar el cadmio y evitar que sea absorbido por las plantas, o verificar que el suelo en el que se empleen no sea deficiente en zinc y magnesio pues esto favorecería la entrada de cadmio en las plantas [15].

Los resultados de las pruebas microbiológicas se observan en la Tabla 5. Al final de las digestiones los coliformes totales y fecales disminuyeron, aunque no cumplen con los límites señalados en la NADF-020-AMBT-2011 [9]. Los coliformes totales y fecales se redujeron 99% en el reactor L80I20, siendo la

reducción mayor, mientras que en el reactor RJ100 la reducción de coliformes totales fue del 38%, siendo este el menor porcentaje de reducción.

Las pruebas de helmintos y *Salmonella* se realizaron únicamente en los SF finales. Los valores obtenidos en ambos casos rebasan los límites máximos de la NADF-020-AMBT-2011 [9] para emplearlos como mejoradores de suelo.

El volumen total de biogas por g de SV destruido, acumulado por cada mezcla varió entre 0.67, para el reactor RJ80I20, hasta 2.29 mL biogás/g_{SV} para el reactor L50RJ50.

Tabla 5. Comparación de los resultados de las pruebas microbiológicas

		RJ80I20	RJ100	L40RJ40I20	L80I20	L50RJ50	I100
Coliformes totales [NMP/g_{ST}]	Inicial	1.03 x10 ⁷ ± 31.11	5.00 x10 ⁶ ± 60.00	6.00 x10 ⁶ ± 57.74	1.71x10 ⁸ ± 90.58	2.60x10 ⁷ ± 23.40	5.50x10 ⁷ ± 23.78
	Final	2.37 x10 ⁶ ± 48.05	3.07 x10 ⁶ ± 43.30	8.00 x10 ⁵ ± 69.60	6.50x10 ³ ± 32.64	2.10x10 ⁶ ± 16.50	8.95x10 ⁶ ± 64.00
Coliformes fecales [NMP/g_{ST}]	Inicial	1.33 x10 ⁶ ± 43.30	2.00 x10 ⁶ ± 0.00	1.33 x10 ⁶ ± 43.30	2.97x10 ⁷ ± 22.44	6.00x10 ⁶ ± 28.87	5.50x10 ⁷ ± 23.78
	Final	1.23 x10 ⁶ ± 40.81	2.30 x10 ⁶ ± 0.00	5.00 x10 ⁵ ± 60.00	2.00 x10 ³ ± 0.00	2.10 x10 ⁶ ± 16.50	1.27 x10 ⁶ ± 82.93
Salmonella [NMP/g_{ST}]	Final	2.97 x10 ³ ± 38.92	1.42 x10 ⁴ ± 59.77	3.50 x10 ³ ± 30.24	2.00 x10 ² ± 0.01	9.00 x10 ² ± 0.01	1.67 x10 ⁴ ± 62.43
Helmintos, Huevos viables	Final	3.00 ± 28.28	8.00 ± 15.06	N.D.	5.00 ± 15.71	3.00 ± 0.00	3.00 ± 0.00

N.D: No detectable

La producción de metano se muestra en la Figura 1, los valores fluctuaron entre 0.0038 y 0.6332 mL/gSV. Durante el análisis de la composición del biogás se observó que a menor proporción de metano presente, mayor es la proporción de dióxido de carbono y viceversa.

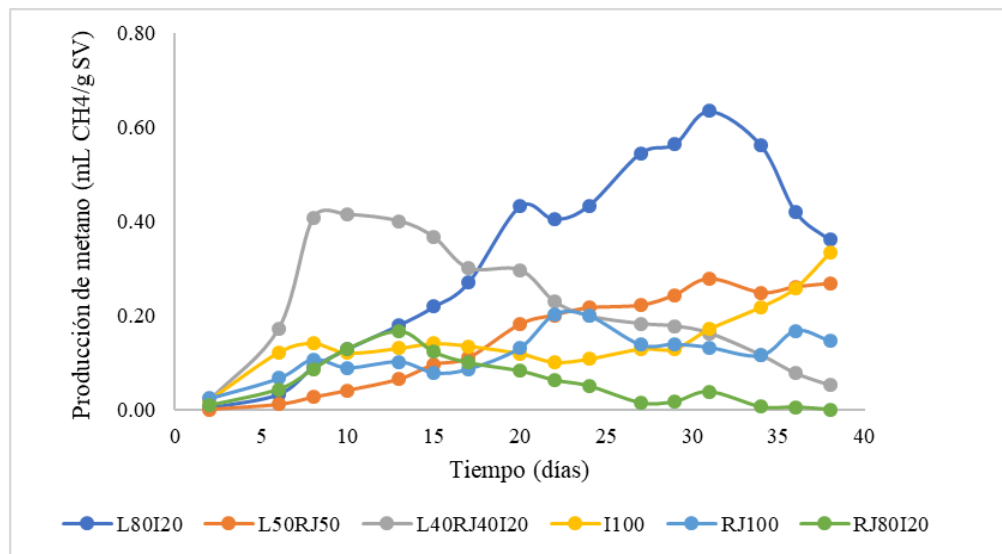


Figura 1. Proporción de metano presente en el biogás producido

4. Conclusiones

La re-fermentación anaerobia de sólidos fermentados fue posible, aunque se presentó un bajo rendimiento en la producción de biogás y la composición de metano (CH_4). Este bajo rendimiento se atribuye a que en la primera digestión se consumió gran parte de la fracción orgánica y en los sólidos fermentados sólo permanece una parte de materia orgánica, así como fibras y materiales difíciles de degradar por los microorganismos metanogénicos. Por lo que sería recomendable mejorar la eficiencia de la primera fermentación, en lugar de un segundo proceso.

Las mezclas de sólidos fermentados con el inóculo fresco y los lodos fisicoquímicos mejoraron la producción y composición del biogás obtenido, esto se observó luego de comparar la composición del biogás producido por el reactor I100 contra los reactores que contenían sólidos fermentados. También se observó que no hay relación entre el volumen de biogás generado y la proporción de metano en su composición.

Esta re-fermentación aminoró gran parte de los patógenos presentes en la caracterización inicial de las mezclas, aun así, no se cumple con lo establecido en la NADF-020-AMBT-2011, por lo que es necesario someter los sólidos a un tercer proceso de estabilización para reducir la carga microbiana y poder usar los sólidos como mejoradores de suelo o explorar la influencia que pudieran tener otros parámetros como el tiempo, temperatura y pH en el primer proceso de estabilización.

Reincorporar los sólidos fermentados a las plantas de producción de biogás permitiría una producción adicional de biogás, reducción de residuos frescos utilizados y el residuo final funcionaría como mejorador de suelos.

5. Agradecimientos

A la Universidad Autónoma Metropolitana por brindar el equipo e instalaciones donde se llevó a cabo este proyecto. Al equipo de la PPTAR y separación por brindar el material necesario para el montaje de reactores. Y al área de Tecnologías Sustentables por brindar los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] Fernández García L. (2016) "Selección y dimensionado de un sistema de generación de biogás mediante digestión anaerobia de purines codigeridos con glicerina". Universidad de Cadiz. España.
- [2] Wilken, D., Rauh, S., Fruhner-Weiß, R., Strippel, F., Botempo, G., Kramer, A., Fürst, M., Wiesheu, M., Kedia, G., Mukherjee, A., Siebert, S., Herbes, C., Kurz, P., Halbherr, V., Dahlin, J., Nelles, M. (2018) "Digestato como fertilizante". Fachverband Biogas e.V. Alemania.
- [3] Community Research and Development Information Service, CORDIS. (2013) Fertilizantes de calidad a partir del digestato de plantas de biogás. En línea <<https://www.residuosprofesional.com/produccion-rentable-de-fertilizantes-de-calidad-partir-del-digestato-de-las-plantas-de-biogas/>>
- [4] Weber, B., Rojas Oropeza, M., Torres Bernal, M., Pampillón Gonzáles, L. (2012) *Producción de biogás en México estado actual y perspectivas*. Primera edición. Red Mexicana de Bioenergía, A.C. Ciudad de México.
- [5] American Public Health Association, APHA., American Water Works Association, AWWA., Water Environment Federation, WEF. (2017) *APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Veintitreceava edición. American Public Health Association. Washington, DC.

- [6] Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, SEDUE. (1992) Norma Mexicana NMX-AA-25-1984. Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos-determinación del pH-Método potenciométrico. *Diario Oficial de la Federación*, 4-5.
- [7] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT. (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, 85.
- [8] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT. (2002) 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*, 44.
- [9] Secretaría de Medio Ambiente, SEDEMA. (2012) NADF-020-AMBT-2011. Norma Ambiental para el Distrito Federal. Requerimientos para la producción de compostas a partir de la FORSU, agrícolas, pecuarios y/o distribuida en la ciudad. *Diario Oficial de la Federación*. 69-83.
- [10] Varnero Moreno, M. T. (2011) *Manual de Biogás*. Primera edición. Santiago de Chile.
- [11] Cuadros, S. (2008) “Compostaje y Biometanización”. EOI, Escuela de Negocios.
- [12] López Torres, M., Veliz, E., Fernández García, L. A., Espinosa Lloréns, M. C. (2010) “Tratamiento de lodos. Una etapa necesaria dentro del proceso tecnológico. Sludge treatment. A necessary step inside the technological process,” *CENIC. Ciencias Químicas*, 41, 1-6. doi: 10-15-8553.
- [13] Solera Del Río, R., Álvarez Gallego, C. J., Aymerich Soler, E., Bedmar Gómez, E. J., Carballa Arcos, M., Castrillón Pelaez, L., Flotats Ripoll, X., Font Segura, X., López López, M. J. (2014) *De Residuo a Recurso, El Camino hacia la Sostenibilidad*. Primera edición. Ediciones Mundi-Prensa. Ciudad de México.
- [14] Picos Benítez A. R. (2016) “Optimización de Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales Salobres”. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Electroquímica (CIDETEQ). Querétaro.
- [15] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO., Organización Mundial de la Salud, OMS. (2019) “Tema 14 del Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias Comité del Codex sobre Contaminantes de los Alimentos”. Comisión del Codex Alimentarius. Italia.

Efecto del tamaño de partícula y biodegradabilidad sobre la digestión anaerobia de residuos sólidos orgánicos

¹Miguel Vicente Teco Jácome, ²Alejandra Velasco Perez, Luis Colorado Acosta, ¹Pedro Zetina Córdoba,
¹José Guadalupe Vian Pérez

¹Universidad Politécnica de Huatusco, Calle 9 Sur entre Av. 7 y 9 Oriente, 94100, Huatusco Veracruz; e-mail:
ibvianperez@gmail.com

²Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Oriente 6, 1009, Rafael Alvarado, 94340, Orizaba Veracruz.

Resumen

En este trabajo se analizó el efecto del tamaño de partícula, así como su interacción con la proporción de las fracciones de lenta y rápida biodegradabilidad sobre la velocidad del proceso de digestión anaerobia (DA) de residuos de frutas y verduras (RFV). Para lo anterior, se utilizaron muestras de residuos frescos (incluyendo cáscaras y pulpa) y digestatos provenientes de un reactor anaerobio de flujo ascendente empacado con lecho de lodos (con 10 días de digestión) que trata RFV. De cada tipo de residuo se obtuvieron diferentes muestras, cada una con determinado tamaño de partícula (< 1.8 , $1.8 - 500$, $500 - 1000$ y > 1000 μm). Las distintas muestras se sometieron a digestión anaerobia en sistemas batch. Se realizó el análisis cinético del proceso utilizando el modelo de Gompertz modificado. Se observó que existe un efecto significativo del tamaño de partícula y la proporción de las fracciones de distinta biodegradabilidad sobre la velocidad de degradación de los residuos.

Palabras Clave: *Digestión anaerobia, residuos sólidos orgánicos, tamaño de partícula.*

139

1. Introducción

La deficiente disposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos ocasiona problemas como la generación de gases de efecto invernadero y la proliferación de vectores de enfermedades. Una alternativa interesante para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos orgánicos (RSUO) es el proceso de digestión anaerobia (DA), cuyo producto final es un biogás con elevado contenido de metano (> 65 %) el cual puede ser empleado para la cogeneración de energía en forma de calor o electricidad [1].

En particular, los residuos de frutas y verduras (RFV) son un excelente sustrato para el proceso de digestión anaerobia por su elevado contenido de humedad (> 80 %), y contenido de materia orgánica (sólidos volátiles > 95 % de los sólidos totales) de la cual, el 75 % corresponde a azúcar y hemicelulosa [2]. Además, la relación entre la demanda química de oxígeno y el contenido de nitrógeno DQO/N es de 100/4, por lo cual, no es necesaria la adición de algún cosustrato.

Debido al elevado contenido de azúcar (hemicelulosa y azúcares libres), durante la etapa de acidogénesis se producen rápidamente ácidos grasos volátiles (AGV) como ácido acético, propiónico, butírico y valérico. Estos compuestos se acumulan cuando la población metanogénica no es suficiente para degradar el ácido acético que se ha generado. Lo anterior puede causar acidificación del medio de reacción ($\text{pH} < 5$), e inhibición de la producción de metano. Por lo tanto, se ha generalizado que la metanogénesis es la etapa limitante de la digestión anaerobia de RFV [3]. Para minimizar el efecto de la carga orgánica sobre la estabilidad del proceso se propone la separación física de las etapas acidogénica y metanogénica. De este modo, se logra incrementar la carga orgánica aplicada de $1.06 \text{ g SV} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (en sistemas por lote de una etapa) hasta $6.8 \text{ g SV} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (para sistemas de dos etapas) [4]. Sin embargo, al ser dos unidades de reacción se incrementan los costos de operación.

Por otro lado, los RFV son complejas estructuras de carbohidratos, proteínas y lípidos. Si se tiene en cuenta que la superficie del residuo es cubierta por enzimas hidrolíticas extracelulares, se puede asumir que la velocidad de hidrólisis es proporcional a la superficie disponible para esas enzimas. Por lo anterior, el tamaño de las partículas afecta la velocidad de desintegración e hidrólisis [5], siendo la etapa limitante del proceso anaerobio cuando los residuos se encuentran en forma particulada [6]. En general para sustratos con mayor proporción de carbohidratos y proteínas, la velocidad de hidrólisis es inversamente proporcional al diámetro [7], sin embargo, al disminuir el tamaño de partícula surgen problemas de inhibición de la actividad metanogénica por acumulación de AGV [8].

Por lo expuesto, la velocidad de degradación de RFV depende de diversos factores, entre los que destacan el tamaño de partícula y la proporción de fracciones de rápida y lenta biodegradabilidad. El comprender el efecto de ambos factores permitirá establecer acciones de control sobre la etapa de hidrólisis y con ello evitar fenómenos de inhibición por la aplicación de elevadas cargas a los sistemas. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del tamaño de partícula y su interacción con la proporción de las fracciones de distinta biodegradabilidad en los residuos sobre la velocidad de producción de metano.

2. Metodología

2.1 Sustrato e inóculo

Se utilizaron residuos frescos de frutas y verduras (cáscara y pulpa) recolectados de un local de coctelería, y digestato (obtenidos después de 10 días de digestión) proveniente de un reactor anaerobio de flujo ascendente empacado con lecho de lodos (RAFAELL) que trata RFV [9]. Se realizó la separación de los RFV frescos, determinando la fracción en masa de cada tipo.

Posteriormente, las muestras se cortaron manualmente para reducir el tamaño de partícula manualmente a 1 cm^3 . Se realizó la caracterización fisicoquímica de las muestras determinando pH (NMX-AA-008-SCFI-2016), sólidos totales y volátiles (NMX-AA-034-SCFI-2015), DQO (NMX-AA-030-SCFI-2001), contenido de fósforo (NMX-AA-029-SCFI-2001) y contenido de nitrógeno (NMX-AA-026-SCFI-2001).

El inóculo fue lodo granular obtenido de un reactor anaerobio de flujo ascendente alimentado con lixiviados de RFV con una carga orgánica de $3\text{ g DQO}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. Previo a la realización de los ensayos de biodegradabilidad se activó el inóculo. La activación consistió en alimentar sucesivamente el lodo con medio RAMM (por sus acrónimos en inglés Revised Anaerobic Mineral Medium) hasta que se logró una actividad metanogénica específica (AME) de $0.6\text{ g DQO}_{\text{CH}_4}\cdot\text{g}^{-1}\text{ SSV}\cdot\text{d}^{-1}$.

2.2 Reducción del tamaño de partícula

Se analizó el efecto de 4 tamaños de partícula: $> 1000\text{ }\mu\text{m}$, $> 500\text{ }\mu\text{m}$, $> 1.8\text{ }\mu\text{m}$ y $< 1.8\text{ }\mu\text{m}$, para cada uno de los sustratos (RFV frescos y digestato). Una vez obtenidas las muestras de RFV y digestato, se trituraron 200 g de muestra con 200 mL de agua destilada en una licuadora. Para separar las partículas mayores a $1000\text{ }\mu\text{m}$, la mezcla triturada se pasó a través de un tamiz de 1 mm de apertura, la masa retenida fue lavada con agua destilada para eliminar las partículas menores a $1000\text{ }\mu\text{m}$. Las partículas menores a $1000\text{ }\mu\text{m}$ se pasaron por un tamiz con una apertura de $500\text{ }\mu\text{m}$, la masa retenida por este fue lavada con agua destilada, obteniendo el segundo tamaño de partícula, mayor a $500\text{ }\mu\text{m}$, pero menor a $1000\text{ }\mu\text{m}$.

Los residuos que pasaron a través del tamiz con una apertura de $500\text{ }\mu\text{m}$ se centrifugaron por 15 minutos a 3500 rpm . El sobrenadante que se obtuvo se pasó a través de un filtro de microfibras de vidrio (GF/A) para asegurar que las partículas tuvieran un tamaño menor a $1.8\text{ }\mu\text{m}$, siendo este el tercer tamaño de partícula. El sedimento obtenido se sometió a lavados con 270 mL de agua destilada, obteniendo al cuarto tamaño de partícula, menor a $500\text{ }\mu\text{m}$, pero mayor a $1.8\text{ }\mu\text{m}$.

2.3 Ensayos de biodegradabilidad anaerobia

Una vez obtenidas las muestras de los 4 tamaños de partícula ($> 1000 \mu\text{m}$, $> 500 \mu\text{m}$, $> 1.8 \mu\text{m}$ y $< 1.8 \mu\text{m}$) de los RFV frescos y del digestato, se procedió a determinar su biodegradabilidad anaerobia [10]. El experimento consistió en preparar por duplicado reactores de 120 mL con 80 mL de medio RAMM sin fuente de carbono. A cada reactor se agregó una masa de RFV o digestato de un determinado tamaño de partícula para tener una concentración de $4 \text{ g DQO} \cdot \text{L}^{-1}$. Además, se agregó a cada reactor 0.5 g de bicarbonato de sodio por cada gramo de DQO. Todos los reactores se inocularon con lodo anaerobio previamente activado ($0.6 \text{ g DQO}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}^{-1} \text{ SSV} \cdot \text{d}^{-1}$) para obtener una concentración de $2.5 \text{ g SSV} \cdot \text{L}^{-1}$. También se preparó un testigo sin inóculo para cuantificar el metabolismo endógeno.

Los reactores se cerraron herméticamente, se colocaron en una incubadora a 35°C y diariamente se midió el volumen de metano generado utilizando un tubo tipo Mariotte con una solución de KOH al 1.5 %. La duración de los ensayos fue de 7 días. Con los datos obtenidos se determinó la velocidad de producción de metano R. Al inicio y al final de todos los ensayos se determina la concentración de DQO soluble y AGV (método por titulación). El balance de DQO para determinar el porcentaje de biodegradabilidad se puede consultar en el trabajo de Field y colaboradores (1986) [10].

2.4 Análisis cinético

Para el análisis cinético de los experimentos, los datos de producción acumulada de metano se ajustaron al modelo de Gompertz modificado (Ecuación 1). Este modelo describe la producción de metano en reactores discontinuos como una función del crecimiento de los microorganismos [11].

$$M = P_m \cdot \exp \left\{ -\exp \left[\frac{R_m \cdot e}{P} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad (1)$$

Donde M es la producción acumulada de metano (mL), P_m es el potencial metanogénico (mL), R_m es la velocidad máxima de producción de metano (d^{-1}), λ es la duración de la fase lag o de adaptación (d) y t es el tiempo (d). Los parámetros P, R_m y λ fueron estimados para cada experimento minimizando la suma del cuadrado de la diferencia entre los valores observados y la respuesta del modelo. La minimización se llevó a cabo mediante regresión no lineal con el algoritmo de Levenberg-Marquardt con un intervalo de confianza de 95% para cada parámetro. La estimación se realizó utilizando la función predeterminada en OriginPro 2016.

Para analizar el efecto de los tamaños de partícula sobre la velocidad de producción de metano y sobre la biodegradabilidad anaerobia de RFV y digestatos se realizaron análisis de varianza. Cuando se encontró desigualdad de medias se procedió a realizar la prueba de igualdad de pares de medias de Tukey para identificar aquellas que fueran estadísticamente iguales. Las pruebas se llevaron a cabo con un nivel de significancia (α) de 0.05. El análisis estadístico se llevó a cabo en el software Minitab.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización fisicoquímica de sustratos

La composición por tipo de residuos de cada muestra de RFV se presenta en la Tabla 1, esta información es importante para explicar la variabilidad fisicoquímica entre las dos muestras. En la Tabla 2 se presenta la caracterización fisicoquímica de las dos muestras de RFV y del digestato anaerobio. Los valores de los parámetros están dentro del intervalo reportado por estudios previos para mezclas de RFV [12]. La relación C: N: P es un parámetro utilizado para caracterizar el balance de nutrientes y generalmente se estima por la relación DQO: N: P. El valor óptimo es 350:5:1 cuando se realiza la digestión anaerobia de residuos ricos en ácidos grasos y carbohidratos [1]. Para las muestras de RFV se observa que poseen una

elevada proporción de nitrógeno, lo cual puede causar problemas de inhibición por acumulación de amoníaco durante el proceso [12].

Por otro lado, la composición del digestato depende de la composición de los residuos digeridos, la fuente de inóculo y las condiciones operativas de la DA. En la Tabla 2, para el digestato se puede notar un pH neutro, causado por la degradación de AGV y producción de NH_3 durante el proceso, así como por la adición de bicarbonatos para controlar el pH y la capacidad amortiguadora del RAFAELL. El contenido de nitrógeno y fósforo están en el intervalo reportado para digestatos anaerobios [13].

Tabla 1. Composición de las mezclas de residuos de frutas y verduras

Tipo de residuo	Mezcla I Fracción	Mezcla II Fracción
Betabel	0.06	0.04
Hojas de rábano	0.05	0.00
Jícama	0.28	0.03
Limón	0.02	0.00
Mango Melón	0.00	0.17
Naranja	0.00	0.08
Papaya	0.00	0.10
Pepino	0.38	0.21
Piña	0.06	0.04
Sandía	0.00	0.16
Zanahoria	0.16	0.18
Total	1.00	1.00

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de los sustratos

Parámetro	Unidad	RFV I	RFV II	Digestato
pH	-	5	6	7
Sólidos totales ST	$\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ residuo	0.085	0.11	0.088
Sólidos volátiles SV	$\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ residuo	0.074	0.10	0.078
DQO	$\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ST	0.813	0.890	0.83
Fósforo	$\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ST	3	6	3
Nitrógeno	$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ST	19	10	38
DQO: N: P	-	350:8.3:1. 4	350:3.8:2. 4	350:15.9:1. 4

3.2 Biodegradabilidad anaerobia

En la Figura 1 se presenta la biodegradabilidad para los diferentes sustratos con distinto tamaño de partícula. Se puede observar que la biodegradabilidad es mayor para las muestras de RFV, lo cual se comprobó al realizar un análisis de varianza. Se obtuvo un valor de $P = 0.000$ con un nivel de significancia de 0.05, con lo cual se tiene evidencia estadística de que hay efecto de la composición de los sustratos sobre su biodegradabilidad. Al realizar la prueba de Tukey (con significancia de 0.05), se observó que los sustratos RFV I y RFV II presentan resultados similares. Por lo cual, para este estudio, el tipo de residuo presente en las mezclas de RFV no tuvo influencia sobre su biodegradabilidad.

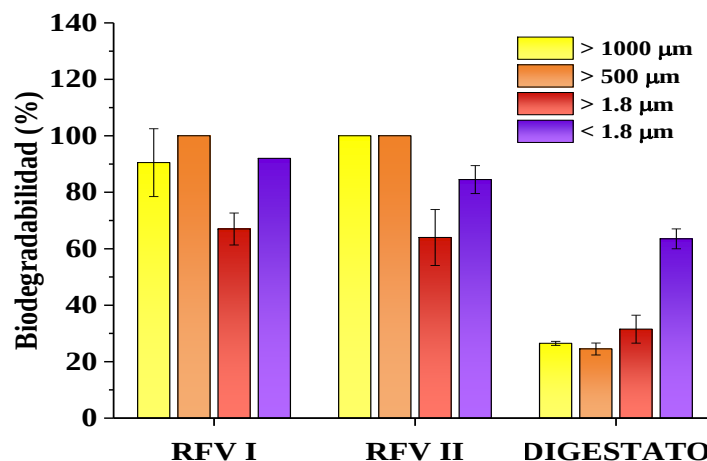


Figura. 1. Biodegradabilidad anaerobia de RFV y digestatos

Para las mezclas de RFV se observó un mayor porcentaje de biodegradabilidad para los tamaños de > 1000 y > 500 µm. La menor biodegradabilidad de los residuos con tamaño de partícula menor se debe a la acumulación de intermediarios como los ácidos grasos volátiles. Al contrario, para los digestatos, la biodegradabilidad incrementa al disminuir el tamaño de partícula, por lo tanto, para sustratos de estas características, la etapa limitante es la hidrólisis de la materia particulada.

3.3 Análisis cinético

En la Figura 2 se observa el metano acumulado durante los experimentos, se observa mayor producción de metano para los ensayos con RFV, lo cual se debe a la presencia de un mayor porcentaje de la fracción de fácil biodegradación. Estas curvas fueron utilizadas para la estimación de los parámetros del modelo de Gompertz modificado. Los resultados de la calibración del modelo se presentan en la Tabla 3, donde se observa que el coeficiente de determinación R^2 fue mayor a 0.9889 para todos los casos, esto indica que el modelo fue adecuado para describir el proceso.

Analizando el parámetro λ , su valor fue mayor para los digestatos (1.0913 – 1.2596) que para los RFV (0.1285 – 0.8419). Esto implica la presencia de una fase de latencia en la digestión anaerobia de digestatos, lo cual puede vincularse a el periodo de liberación enzimas hidrolíticas (celulasas).

En los ensayos para RFV se obtuvieron valores de P_m mayores (132.6822 – 248.6050 mL) para los tamaños de partícula > 1000 y > 500 µm, con respecto a los tamaños de > 1.8 y < 1.8 µm (54.9080 – 132.8829 mL). Esto se asocia con problemas de inhibición de la actividad metanogénica por acumulación de intermediarios. Por el contrario, para el digestato con menor contenido de azúcares (D3), el mayor valor de P_m (87.8359 mL) se obtuvo para el tamaño de partícula 4.

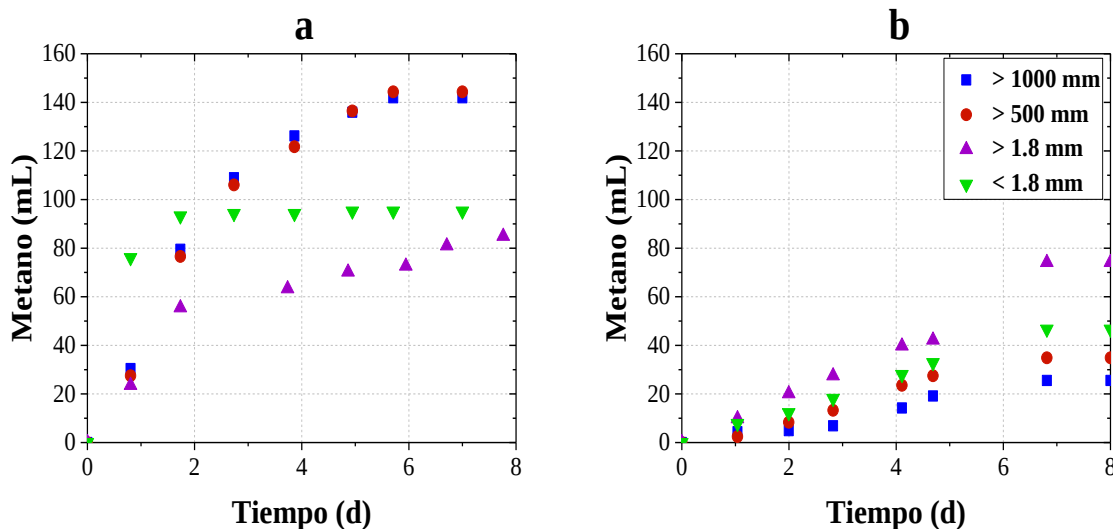


Figura. 2. Producción acumulada de metano durante ensayos de biodegradabilidad anaerobia de a) RFV y b) digestato

Se realizó el análisis de varianza (0.05 de significancia) de R_m para analizar el efecto de la composición del residuo sobre la velocidad de producción de metano. El valor de $F_{\alpha, a-1, N-a} = 2.54$ resultó menor a $F = 28.95$, por lo tanto, se asume que hay diferencia significativa de la composición del sustrato sobre la velocidad de producción de metano. En la expresión $F_{\alpha, a-1, N-a}$, α es el nivel de significancia, $a-1$ son los grados de libertad entre tratamientos y $N-a$ son los grados de libertad del error. Para verificar cuales sustratos tenían efecto similar se realizó la prueba de contraste de medias de Tukey, con significancia de 0.05. Se determinó que R_m es estadísticamente igual para las mezclas de RFV.

En la digestión de RFV, el valor de R_m obtenido para los ensayos con tamaño $< 1.8 \mu m$ (91.0383 y 106.27 d^{-1}) fue mayor a los valores que se estimaron para los otros tamaños de partícula (15.0598 – 52.4575 d^{-1}). Una mayor velocidad de producción de metano significa que las etapas anteriores se llevan a cabo también a mayor velocidad, por lo tanto, la reducción del tamaño de partícula promueve la hidrólisis y acidificación del sustrato, lo que finalmente puede provocar inhibición de la actividad metanogénica [8]. Por esta razón, a pesar de que el valor de R_m fue mayor para la digestión anaerobia de partículas $< 1.8 \mu m$, el valor de P_m para este tamaño de partícula fue el menor respecto a los otros tamaños de partícula. En cuanto a la digestión de digestatos, el valor máximo de R_m (14.0179 d^{-1}) se obtuvo para las muestras con tamaño menor. Entonces se puede afirmar que la estructura del sustrato afecta de la velocidad de degradación de ese tipo de residuos. Al desintegrar la estructura del residuo hasta obtener sustrato soluble (partículas $< 1.8 \mu m$), se logró incrementar la velocidad de producción de metano a partir de las fracciones lentamente biodegradables.

Tabla 3. Parámetros cinéticos del modelo de Gompertz modificado para la digestión anaerobia de RFV y digestatos

Sustrato	Tamaño (μm)	P_m (mL)	STD (mL)	R_m (d^{-1})	STD (d^{-1})	λ (d)	STD (d)	R^2
RFV I	> 1000	132.6822	11.6206	50.9052	1.1647	0.1703	0.1520	0.9889
RFV I	> 500	139.4589	3.3889	46.3225	0.8879	0.2339	0.0578	0.9956
RFV I	> 1.8	78.7685	11.8551	15.0598	5.7104	0.4102	0.3726	0.9909
RFV I	< 1.8	83.1219	10.2985	91.0383	4.7561	0.1344	0.0167	0.9951
RFV II	> 1000	206.2933	9.3313	46.5674	6.0853	0.8419	0.1705	0.9971
RFV II	> 500	248.6050	11.9536	52.4575	0.5784	0.6464	0.0204	0.9921
RFV II	> 1.8	54.9080	8.7406	15.4791	1.9224	0.5121	0.1970	0.9945
RFV II	< 1.8	132.8829	12.0578	106.2700	2.1907	0.1285	0.0227	0.9923
D1	> 1000	26.9453	1.6932	5.2316	0.2488	1.2596	0.2464	0.9984
D1	> 500	35.4120	1.3912	8.2911	0.7318	1.2186	0.0653	0.9997
D1	> 1.8	49.9312	2.2729	8.5733	1.3258	1.0913	0.3006	0.9996
D1	< 1.8	87.8359	1.1359	14.0179	0.2681	1.1015	0.0332	0.9997

STD: Desviación estándar. D1: Digestato.

4. Conclusiones

En este trabajo no se encontró diferencia significativa en la biodegradabilidad de las muestras de RFV ensayadas, lo que implica que para este tipo de mezclas se pueden obtener resultados similares, independientemente de su composición (tipo de residuo). Sin embargo, para generalizar la hipótesis anterior, es necesario realizar ensayos con un mayor número de muestras considerando la variación estacional de la generación de residuos. Esto es importante, ya que las conclusiones reportadas sobre la digestión anaerobia de mezclas de RFV pueden tomarse como base para el diseño y operación de reactores. Los resultados obtenidos muestran que la biodegradabilidad de los RFV cambia significativamente con el tiempo de digestión y que el tamaño de la partícula tiene un efecto significativo sobre la velocidad de biodegradabilidad. Durante la digestión anaerobia de RFV, los sustratos de fácil biodegradabilidad son consumidos antes de 10 días de digestión.

Del análisis cinético se concluye que al disminuir el tamaño de partícula incrementa la velocidad global del proceso (información de R_m), específicamente se infiere que se promueve la hidrólisis del sustrato. Esto tiene repercusión en la aparición de fenómenos de inhibición por acumulación de intermediarios. Entonces, al diseñar procesos de digestión de este tipo de sustratos es importante determinar el tamaño de partícula óptimo. Para sustratos de menor biodegradabilidad (< 25 %), es necesaria una solubilización previa de la materia.

5. Referencias bibliográficas

- [1] Montalvo, S. y Guerrero, L. (2003). Tratamiento anaerobio de residuos. Valparaíso. Universidad Técnica Federico Santa María.
- [2] Edwiges, T., Frare, L., Mayer, B., Lins, L., Mi Triolo, J., Flotats, X., & de Mendonça Costa, M. S. S. (2018). Influence of chemical composition on biochemical methane potential of fruit and vegetable waste. *Waste Management*, 71, 618–625. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.030>
- [3] Ji, C., Kong, C. X., Mei, Z. L., & Li, J. (2017). A Review of the Anaerobic Digestion of Fruit and Vegetable Waste. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 183(3), 906–922. <https://doi.org/10.1007/s12010-017-2472-x>
- [4] Bouallagui, H., Touhami, Y., Ben Cheikh, R., & Hamdi, M. (2005). Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. *Process Biochemistry*, 40(3–4), 989–995. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.03.007>
- [5] Hobson, P. N. (1987). A model of some aspects of microbial degradation of particulate substrates. *Journal of Fermentation Technology*, 65(4), 431–439. [https://doi.org/10.1016/0385-6380\(87\)90140-3](https://doi.org/10.1016/0385-6380(87)90140-3)
- [6] Veeken, A., & Hamelers, B. (1999). Effect of temperature on hydrolysis rates of selected biowaste components. *Bioresource Technology*, 69(3), 249–254. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00188-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00188-6)
- [7] Christ, O., Wilderer, P. A., Angerhöfer, R., & Faulstich, M. (2000). Mathematical modeling of the hydrolysis of anaerobic processes. *Water Science and Technology*, 41(3), 61–65. <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0056>
- [8] Izumi, K., Okishio, Y. ki, Nagao, N., Niwa, C., Yamamoto, S., & Toda, T. (2010). Effects of particle size on anaerobic digestion of food waste. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 64(7), 601–608. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.06.013>
- [9] Vian J.G. (2014). Producción de metano a partir de residuos sólidos urbanos orgánicos vegetales. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Orizaba, Veracruz.
- [10] Field, J., Sierra, R., Lettinga, G. (1986). Ensayos anaerobios. *Process of on Wastewater Anaerobic Treatments*.
- [11] Li, Yangyang, Jin, Y., Li, H., Borrión, A., Yu, Z., & Li, J. (2018). Kinetic studies on organic degradation and its impacts on improving methane production during anaerobic digestion of food waste. *Applied Energy*, 213(January), 136–147. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.033>
- [12] García María Monserrat, M., Carmona Sergio Esteban, V., Vargas Josefina, P., Jiménez Gabriela, Z., Pérez Alejandra, V., & Solís Carmen Kikey, C. (2019). Two-stage anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. *Journal of Biotech Research*.
- [13] Monlau, F., Sambusiti, C., Ficara, E., Aboulkas, A., Barakat, A., & Carrère, H. (2015). New opportunities for agricultural digestate valorization: Current situation and perspectives. In *Energy and Environmental Science* (Vol. 8, Issue 9, pp. 2600–2621). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c5ee01633a>

Estudio del efecto de las propiedades biológicas y bioquímicas en la vermicomposta en suelo de cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*)

¹Victor Henok Colín Velázquez, ¹Rocio Vaca Paulin, ¹Jorge Lugo de la Fuente, ¹Pedro Del Aguila Juárez,
²Martha Elena Mora Herrera, ¹Nadia De la Portilla López, ¹Gustavo Yañez Ocampo, ²Diana Yatzil Reyes Araujo

¹ Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario núm.100, Estado de México, CP 50200. delaguila.1959@gmail.com.

² Centro Universitario UAEM Tenancingo. Hacienda de Santa Ana Tenancingo Estado de México.

Resumen

El reciclaje de los residuos sólidos orgánicos mediante vermicomposta y su uso agrícola ayuda a reducir la contaminación y favorece la estabilidad del suelo. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la actividad respiratoria y enzimática usando dosis de vermicomposta (elaborada de estiércol equino y lodo residual) en un suelo cultivado con albahaca (*Ocimum basilicum*) en condiciones de invernadero. Se trabajó con 5 tratamientos: un control positivo (suelo agrícola), uno negativo (sustrato Peat moss) y 3 dosis de vermicomposta (T20, T40 y T60 t/ha) con 6 réplicas por tratamiento. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos y biológicos (actividad biológica y enzimática). La caracterización de la vermicomposta mostró un pH (7.1 ± 0.52), conductividad eléctrica (1.6 ± 0.43 dS/m) y materia orgánica (23.6 ± 1.38 %) los cuales están dentro de la norma NMX-FF109-SCFI-2007. Se realizaron dos lecturas al inicio y al final del estudio de la vermicomposta. La actividad respiratoria en tiempo inicial T40= 208.2 ± 23.15 mgCO₂/100gss y T60= 205.7 ± 22.42 mgCO₂/100gss) mostró un valor mayor, pero en tiempo final solo T40 (228 mg de CO₂ / 100gss). La actividad de la catalasa no presentó diferencias durante el inicio, pero el tratamiento T60 al final mostró el mayor incremento de la actividad enzimática (0.049 ± 0.01 moles de H₂O₂/gh). La mayor actividad de la ureasa se dio en los controles C⁻ (11.8 ± 2.35 g NH⁺/g h) y C⁺ (11.2 ± 1.99 g NH⁺/g h), aunque al tiempo final la mayor actividad solo le correspondió a T60 (14.6 ± 1.26 g NH⁺/g h). Por lo que se seleccionó T60 como la mejor opción para el cultivo de la albahaca por ser el óptimo, considerando los resultados bioquímicos.

Palabras Clave: carbono lábil, lombriz de tierra, mineralización.

1. Introducción

La agricultura convencional ha incrementado la producción agrícola, pero a la vez ha traído impacto al ambiente por la adición de fertilizantes inorgánicos, plaguicidas e insumos que afectan no solo al suelo sino a la salud de la población. Este impacto al ambiente ha cambiado el interés para mirar hacia el uso de enmiendas orgánicas como son la composta y vermicomposta que incrementan la producción de los cultivos y previenen la proliferación de plagas. La vermicompostano no solo funciona como abono, sino que además es un agente de biocontrol y se considera una forma efectiva de gestión de residuos sólidos [1]. La vermicomposta disminuye el impacto al ambiente y esta actúa como un proceso no termófilo que involucra interacciones entre la lombriz y los microorganismos que conducen a la biooxidación y estabilización de la materia orgánica y el producto obtenido juega un papel en el mejoramiento de la productividad de los suelos agrícolas [2], [3]. La calidad de la vermicomposta se relaciona con la estabilidad de esta y adquiere un valor agregado en el mercado, porque compite con el fertilizante inorgánico porque contiene nutrientes (N, P, K, Ca, etc.), que son disponibles en el suelo. Los parámetros que se utilizan para verificar la estabilidad de la vermicomposta son: la temperatura, el pH, N, C, la relación C / N, el contenido de humedad, la biomasa microbiana, la actividad respiratoria y la actividad

enzimática, que informan de la calidad y el tiempo en que tarda en estar lista para su uso y cumple con una normatividad libre de patógenos y rica en nutrientes [4]. Más sin embargo, si la vermicomposta no está bien elaborada puede presentar un pH alcalino que desfavorece la disponibilidad de nutrientes y si tiene un valor alto de la conductividad eléctrica (CE) no permite el crecimiento a las plantas [5], pero cuando se cuenta con materia orgánica lábil el residuo orgánico que va ser procesado a vermicomposta la estabilización se favorece debido a que este proceso es de tipo biológico donde interactúan la lombriz y microorganismo junto con enzimas que convierten a los compuestos orgánicos en sustancia intercambiables más disponibles para el suelo y planta [6]. Por lo que el objetivo es investigar el efecto de la actividad respiratoria y enzimática usando diferentes dosis de vermicomposta (elaborada) en un suelo cultivado con albahaca (*Ocimum basilicum*) a nivel de invernadero con la finalidad de determinar la dosis apropiada para ese cultivo.

1. Metodología

2.1 Materia prima: lodos residuales, estiércol y suelo

La vermicomposta de este estudio fue proporcionada por el departamento de Fisiología Vegetal del Centro Universitario Tenancingo de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) y para la preparación de la vermicomposta se contó con lodo residual proporcionado por la planta tratadora de aguas residuales municipales Toluca Norte (ver Figura 1), el estiércol de caballo obtenido del Hípico de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia de la UAEM (ver Figura 2) en proporción 30:70 (v/v). En estudios previos se probó que la relación de estiércol y lodo residual óptima para aplicarla como vermicomposta fue de 30 % de lodo residual y 70 % de estiércol equino que presenta un pH neutro y gran aporte de C y N, recomendable como acondicionador de suelo con condiciones adecuadas para el desarrollo de la lombriz (*Eiseniafoetida*) donde se adicionó a la mezcla 25 lombrices jóvenes en edad reproductiva con una longitud de 3 a 5 cm en un recipiente con un volumen de 10 L. Para determinar la estabilidad de la vermicomposta se realizó la evaluación de parámetros como pH, conductividad eléctrica (CE) y materia orgánica (MO) cada 15 días a partir de la adición de las lombrices (*E. foetida*) y hasta su maduración que fue de 75 días de acuerdo con Reyes y colaboradores [7].

El suelo para la realización del cultivo de la albahaca se colectó en una parcela de una hectárea empleando un muestreo sistemático.



Figura 1. Sitio de colecta del lodo residual en la planta de tratamiento ECOSyS. Toluca Estado de México



Figura 2. Sitio de colecta del estiércol equino en instalaciones de Hípico de la Facultad de Medicina y Veterinaria de la UAEM

2.2 Sitio de trabajo y montaje del experimento

El estudio se llevó a cabo en un invernadero perteneciente al Centro Universitario de Tenancingo de la UAEM (ver Figura 3). La vermicomposta, agrolita y el Peat moss Turba fueron proporcionada por el laboratorio de Fisiología Vegetal del mismo Centro Universitario.



Figura 3. Invernadero del Centro Universitario de Tenancingo de la UAEM

En el invernadero se montó el experimento y se colocaron en dos mesas las 30 macetas 6 por tratamiento y en cada maceta se adicionó aproximadamente 5 kg de los componentes (suelo, agrolita, Peat moss y vermicomposta) variando la dosis de acuerdo a tratamiento correspondiente (ver tabla 1) y el diseño que se llevó a cabo en el experimento fue de bloques completamente al azar. La toma de las muestras para realizar los estudios de la actividad respiratoria y enzimática se llevó en dos tiempos: un tiempo inicial que fue antes del trasplante de la albahaca y el tiempo final a los 80 días que fue el primer corte de la planta de albahaca. En la primera toma de muestras se colectó aproximadamente 120 g por maceta de cada tratamiento a partir de la parte central de la maceta a una profundidad de 0-15 cm (vertical) y para el tiempo final se ocupó la misma cantidad de muestra y se tomó en los espacios que se encontraban entre las

plantas pero a la misma profundidad. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico donde se etiquetó para ser trasladado al laboratorio y posteriormente se congelaron para su conservación y posterior análisis.

Tabla 1. Composición de los cinco tratamientos de suelo de cultivo y enmendados con vermicomposta en el cultivo de la albahaca

Tratamientos	Suelo (kg)	Agrolita (kg)	Vermicomposta (g)
C+ (Suelo agrícola)	4	1	Ausente
C- (Peat moss)	4	1	Ausente
T20 (20 T/Ha)	3.708	1	292
T40 (40 T/Ha)	3.416	1	584
T60 (60 T/Ha)	3.124	1	876

C+: control positivo, C-: control negativo, T: tratamiento de albahaca, y 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta.

2.3 Análisis químico de las muestras de vermicomposta con suelo del invernadero

2.3.1 Determinación de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros químicos analizados se realizaron de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 [8]. Las muestras de vermicomposta colectadas se les evaluó en dos tiempos (inicial y final) los parámetros fisicoquímicos: la humedad, el pH (1/10 sustrato / agua), conductividad eléctrica (medidor de conductividad EC Hanna EC / TDS / Temp) y el C orgánico por el método de ignición.

2.3.2 Determinación de la respiración

Para determinar el CO₂ desprendido, se valoró el NaOH con HCl de normalidad conocida (0.1N) y parecida al NaOH, puesto que el CO₂ producido es atrapado por el NaOH, generándose Na₂CO₃ procedente de la respiración de la muestra. Posteriormente se cerraron los recipientes y se llevaron a una estufa durante 20 días, se determinó el CO₂ desprendido cada tercer día. Se tomó una alícuota de 2 mL de los viales de NaOH procedentes de la incubación de cada una de las muestras y de los blancos. Se añadió 1 mL de BaCl₂ al 20 %, el cual facilitó la precipitación de los carbonatos y un poco de agua destilada. La solución resultante se valoró con HCl, que debe añadirse lentamente para evitar una posible dilución del BaCO₃ precipitado [9].

2.3.3. Determinación de la catalasa y ureasa

La actividad de la catalasa se determinó por el método propuesto por Johnson y Temple [10] que se basa en la adición de H₂O₂ a la muestra y su incubación a 20°C en el cual actúa la enzima, provocando la descomposición del H₂O₂ en H₂O y O₂. La actividad de la ureasa se determinó de acuerdo a método de Tabatabaia y Bremner [11] que se basa en la determinación del amonio liberado después de la incubación de las muestras de suelo con solución de urea por 2 horas a 37° (parámetros óptimos para la actividad de la enzima).

2.3.4. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de estadística descriptiva (media, desviación estándar y gráficas) de los parámetros fisicoquímicos y de la actividad biológica (respiración y enzimas). También se procedió a la prueba de LSD para conocer las diferencias fisicoquímicas entre los tratamientos. Para la actividad biológica la respiración se analizó la tendencia de manera gráfico de los tratamientos y posteriormente se compararon los dos tiempos (inicial y final) aplicando una “t de student dependiente”. Para las enzimas se aplicó solo la misma prueba anterior y los datos se trabajaron con un intervalo de confianza del 95% ($p < 0.05$) en el paquete de datos StatgraphicsCenturion XVI.

2. Resultados y discusión

Como se observa en la Figura 4, el pH que se presentó de manera uniforme en los tratamientos al tiempo inicial (en el trasplante de la planta) y cambio significativamente ($p < 0.05$) en el tiempo final (al primer corte de la planta a los 80 días) donde se encontró un pH alto en los tratamientos T60 ($\text{pH} = 7.1 \pm 0.12$) y T40 ($\text{pH} = 7.1 \pm 0.05$) y decreció en los otros tres tratamientos T20 (7 ± 0.05), C- (7 ± 0.20) y C+ (6.7 ± 0.07) conservando un comportamiento neutro. Aunque cabe mencionar que todos los tratamientos en este estudio se encontraron dentro de la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007. García-Sánchez y colaboradores [12], comentan que las disminuciones del pH obedecen a que cesa la actividad de la lombriz y microorganismos que son los responsables de la mineralización de compuestos ricos en N y P, así como la producción de CO_2 , y de los ácidos organismos liberados por parte de los microorganismos durante su metabolismo que dan lugar finalmente a la producción de ácidos húmicos y fúlvicos.

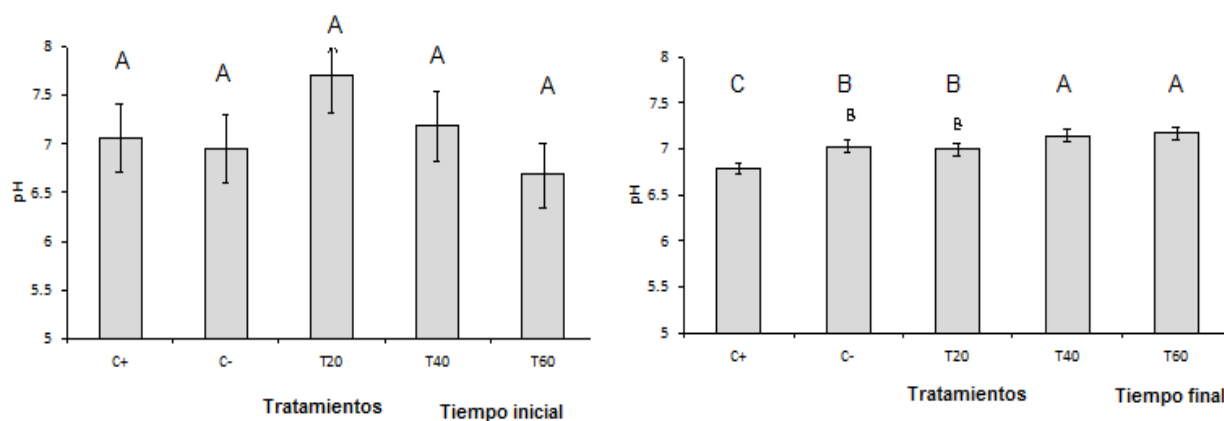


Figura 4. El comportamiento del pH de los tratamientos durante el cultivo de la planta de albahaca. El tiempo inicial se da en el trasplante de la planta y el tiempo final es en el primer corte a los 80 días. Las literales diferentes indican diferencia entre tratamientos con $p < 0.05$ de la prueba de LSD. C+: control positivo, C-: control negativo, T: tratamiento de albahaca, y 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta

Como se observa en la Figura 5 la CE al inicio fue menor con respecto al final del estudio en los tratamientos, siendo la mayor CE los que presentaron las mayores dosis de vermicomposta. Pero en el tiempo final y corte del cultivo de albahaca se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$). El valor más alto de la CE la presentó el tratamiento T60 (2.5 ± 0.05 dS/m), seguido de T40 (1.8 ± 0.03 dS/m), T20 (1.8 ± 0.03 dS/m), C- (2.1 ± 0.06 dS/m) y C+ (2 ± 0.01 dS/m). También resulta importante mencionar que los valores de los tratamientos no rebasaron la norma mexicana. Este incremento de la CE obedece a la presencia de sales por la actividad de la lombriz (*E. foetida*) que descompone sustancias orgánicas y estimulan el proceso de mineralización y concuerda con Pérez-Godínez y colaboradores [13].

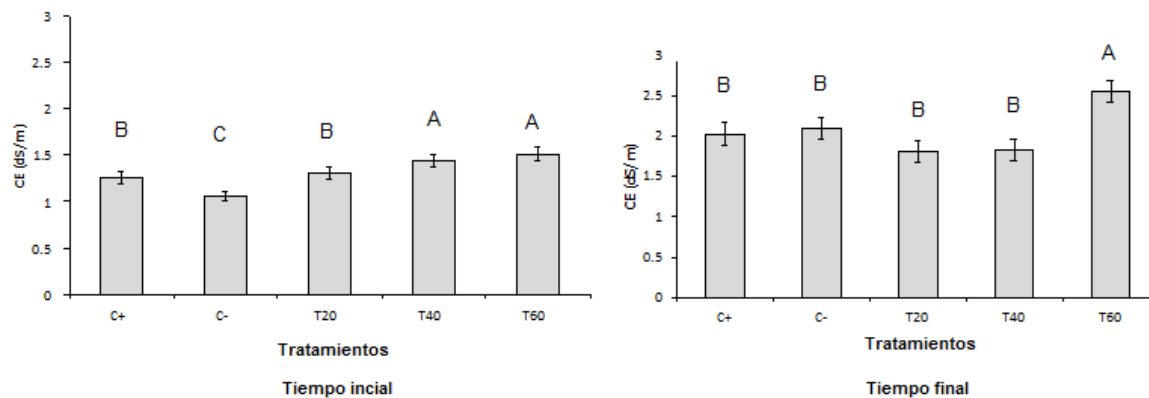


Figura 5. El comportamiento de la CE de los tratamientos durante el cultivo de la planta de albahaca. El tiempo inicial se da en el trasplante de la planta y el tiempo final es en el primer corte a los 80 días. Las literales diferentes indican diferencia entre tratamientos con $p < 0.05$ de la prueba de LSD. C+: control positivo, C-: control negativo, T: tratamiento de albahaca, y 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta

La materia orgánica (MO) predominó en los tratamientos de contenían más dosis con vermicomposta en comparación con los controles cómo se muestra en la Figura 6. Aunque cabe resaltar que para el tiempo final se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), en este caso T20 (26.4 ± 1.4 %) presentó el mayor contenido de MO, seguido de T60 (26.3 ± 3.2 %) y T40 (25.1 ± 2.2 %) el tratamiento C- contó con 23.8 ± 1.6 %, mientras que el más bajo fue para C+ con 21.8 ± 0.8 %. Es importante resaltar que el aporte de la MO de la vermicomposta favoreció al suelo del cultivo de albahaca en la restauración, estabilización y mejoramiento de la productividad del mismo, estando presente una fuente de carbono lábil es decir más fácil de obtener y que se considera como proveedor de nutrientes que benefician a la planta y concuerda con los estudios de Absar y colaboradores [14].



Figura 6. El comportamiento de la materia orgánica en los tratamientos durante el cultivo de la planta de albahaca. El tiempo inicial se da en el trasplante de la planta y el tiempo final es en el primer corte a los 80 días. Las literales diferentes indican diferencia entre tratamientos con $p < 0.05$ de la prueba de LSD. C+: control positivo, C-: control negativo, T: tratamiento de albahaca, y 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta

Con relación a la actividad respiratoria el comportamiento fue similar al inicio y termino del experimento, aunque siempre la menor actividad respiratoria estuvo presente en el control positivo. En la Figura 7 se observa que la actividad respiratoria fue mayor en los tratamientos que contenían la mayor dosis de vermicomposta que le corresponde a T60 (205.7 ± 22.42 mg $\text{CO}_2/100\text{gss}$) y T40 (208.2 ± 23.15 mg $\text{CO}_2/100\text{gss}$), de ahí que la actividad respiratoria se logra observar un incremento de manera exponencial a los 8 días de incubación. El tiempo final el tratamiento que más actividad respiratoria produjo fue T40

(228.1 ± 26.55 mg CO₂/100gss) y el mas bajo C+ (195.6 ± 22.51 mg CO₂/100gss). El aumento de la respiración presentada al final del experimento o primer corte de la albahaca indica que todavía está presente el C lábil por lo que la población microbiana lo sigue utilizando para sus actividades metabólicas generando CO₂, haciendo mención que la vermicomposta estuvo constituida por lodo residual y estiércol equino. Con respecto al lodo residual este presenta inóculos que favorecen la degradación de C lábil y le da una potencialidad a la actividad respiratoria [15].

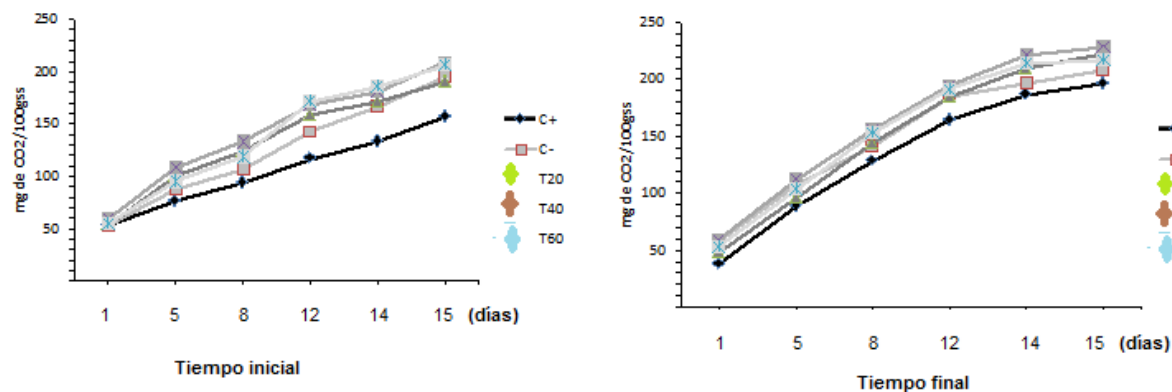


Figura 7. El comportamiento de la actividad respiratoria en los tratamientos durante el cultivo de la planta de albahaca. Símbolos indican la dosis de vermicomposta y los controles de cada uno de los cinco tratamientos. El tiempo inicial se da en el trasplante de la planta y el tiempo final es en el primer corte a los 80 días. C+: control positivo, C-: control negativo, T: tratamiento de albahaca, y 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta

Como se observa en la Figura 8 existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la actividad respiratoria de los dos tiempos comparados, siendo al final del proceso cuando se presentó un incremento mayor con respecto al inicial. El aumento en la actividad respiratoria podría atribuirse a la existencia de MO lábil que está todavía presente al final del corte del cultivo de la albahaca y en el suelo se estimula a las comunidades microbianas proveniente de las mezclas de vermicomposta. La adición de materiales orgánicos a los suelos puede estimular la mineralización del C existente en el suelo, lo que induce una mayor respiración del suelo [16]. La actividad respiratoria junto con la biomasa microbiana son parámetros de informar de la estabilidad de la vermicomposta y de esa manera tener la plena seguridad de usar un producto adecuado para uso agrícola y forestal [17].

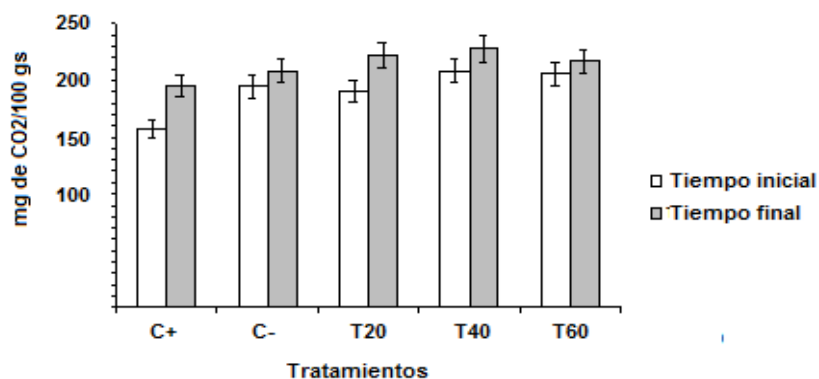


Figura 8. El comportamiento de la actividad respiratoria entre los dos tiempos de los cinco tratamientos en el cultivo de la planta de albahaca. El tiempo inicial se da en el trasplante de la planta y el tiempo final es en el primer corte a los 80 días. C+: control positivo, C-: control negativo, T: tratamiento de albahaca, y 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta. Con $p < 0.05$ y prueba de t-student dependiente

La actividad enzimática de la catalasa presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los dos tiempos. El incremento estuvo presente en el tiempo final en los tratamientos como se muestra en la Figura 9, esto puede deberse a la calidad de la vermicomposta que se aplicó en el estudio que indica que está libre de compuestos tóxicos. Estudios de Hosseinzadeh y colaboradores, reportan que la catalasa es un indicador de las sustancias tóxicas que se pueden presentar durante el proceso de elaboración de la vermicomposta, también cuando la enzima tiene una baja actividad se presenta una inhibición. Por otra parte la actividad de la catalasa explica la actividad metabólica de los microorganismos durante el vermicomposteo y se considera un indicador del estrés oxidativo de especies nocivas de oxígeno que se generan durante el metabolismo de microorganismos aerobio y anaerobios facultativos [18].

Resulta importante mencionar que la comparación de los tiempos en la actividad de la catalasa para cada tratamiento en tiempo final se encontró que 3 tratamientos presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$): C^- (t_1 : 0.023 ± 0.015 , t_2 : 0.043 ± 0.011), en T20 (t_1 : 0.262 ± 0.008 y t_2 : 0.04 ± 0.009) y T60 (t_1 : 0.023 ± 0.0106 y t_2 : 0.049 ± 0.013), pero los otros 2 tratamientos no hubo esas diferencias (C^+ y T40). Estudios reportan sobre el efecto de la vermicomposta en las actividades enzimáticas del suelo mostraron un aumento de la actividad de la catalasa [19].

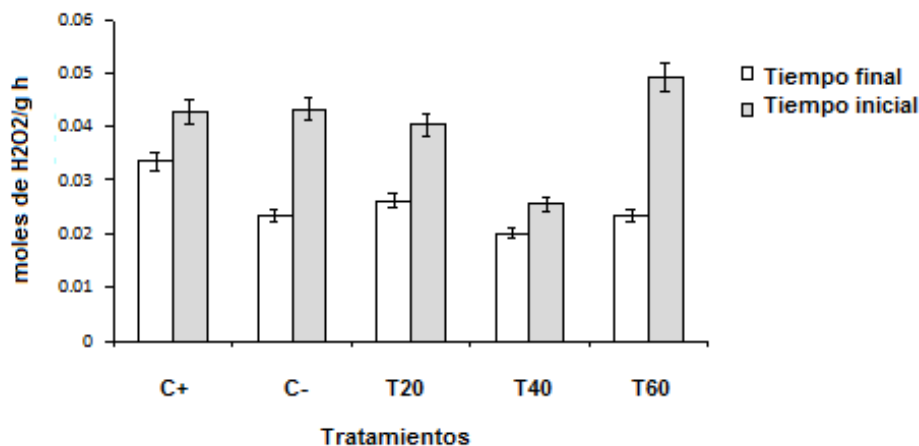


Figura 9. El comportamiento de la actividad de la catalasa entre los dos tiempos de los tratamientos en el cultivo de la planta de albahaca. El tiempo inicial se da en el trasplante de la planta y el tiempo final es en el primer corte a los 80 días. C+: control positivo, C-: control negativo, T: tratamiento de albahaca, y 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta. Con $p < 0.05$ y prueba de t-student dependiente

Como se muestra en la Figura 10, la actividad de la enzima ureasa presentó diferencias significativas ($p < 0.5\%$) en los dos tiempos comparados. Los 2 tratamientos controles (C^+ y C^-) y el de mayor adición de vermicomposta T60 fueron los que presentaron la mayor actividad, aunque el comportamiento general indica que la enzima no se activa en las dosis baja y media de vermicomposta, pero si cuando no está presente la vermicomposta tal es el caso de los controles.

Esta conducta de disminución de la actividad de esta enzima obedece a que la ureasa después de los 80 días del cultivo la materia orgánica no contaba con C lábil y no había más componentes orgánicos por degradar en la mezcla de la vermicomposta y suelo.

Cabe resaltar que solo T60 fue el único tratamiento que presentó un aumento en la actividad enzimática al término del estudio, esto puede deberse a la cantidad de materia orgánica y que en ella se encuentra el C lábil que está presente siendo la dosis mayor con relación a los demás tratamientos. Estudios indican que la ureasa presenta una correlación con la relación C/N durante la elaboración de la vermicomposta [20]. Así también se tiene conocimiento por Uz y Tavali [21] que la actividad extracelular de ureasa disminuye considerablemente debido a que los sustratos de nitrógeno se consumen durante los primeros meses del proceso de degradación de la materia orgánica.

Finalmente se puede decir que las enzimas como la catalasa y ureasa entre otras participan en un sinnúmero de reacciones bioquímicas en el suelo, material de reciclaje como la composta y vermicomposta y que estas reflejan la dirección de los procesos bioquímicos que suceden en el suelo para el beneficio del suelo y el ambiente.

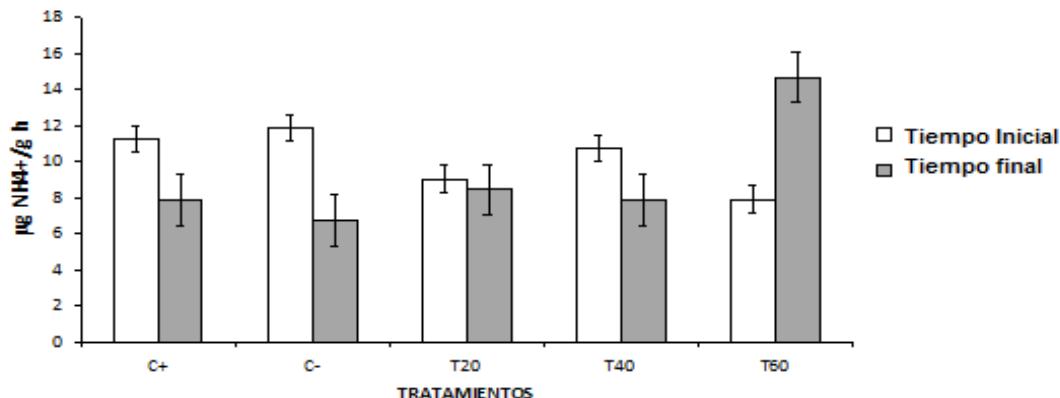


Figura 10. El comportamiento de la actividad de la ureasa entre los dos tiempos de los tratamientos en el cultivo de la planta de albahaca. El tiempo inicial se da en el trasplante de la planta y el tiempo final es en el primer corte a los 80 días. C+: control positivo, C-: control negativo, T: tratamiento de albahaca, y 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta. Con $p < 0.05$ y prueba de t-student dependiente

3. Conclusiones

En este estudio la aplicación de la vermicomposta a partir de residuos sólidos como el estiércol equino y lodo residual modificó los parámetros biológicos y bioquímicos del suelo dando como resultado una respuesta positiva en el suelo.

Los parámetros fisicoquímicos que se evaluaron en la elaboración de la vermicomposta, indicaron la estabilidad del producto en el suelo del cultivo de albahaca y se supeditó a la norma mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

La actividad respiratoria mostró una diferencia entre los tratamientos y se vio incrementado en el suelo con el tratamiento T40, logrando una degradación de la MO por parte de la lombriz y microorganismos en el cultivo de la albahaca.

Para la actividad enzimática de catalasa mostró un aumento en T20 y T60 con respecto a los demás tratamientos lo que reveló un buen metabolismo celular de microorganismos en el suelo, así también la actividad enzimática de la ureasa en T60 fue el doble con respecto a los demás tratamientos e indica un mejor aprovechamiento de los nutrientes ricos en N de la MO en el suelo para la planta por lo que T60 es una opción a sugerirlo para el cultivo de la albahaca.

4. Referencias bibliográficas

- [1] Joshi R., Singh J., Pal Vig, A. (2015) Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Rev Environmental Science Biotechnology*, 14, 137–159. doi. 10.1007/s11157-014-9347-1.
- [2] Aspray TJ, Dimanbro ME, Wallace P, Howell G, Frederickson, J. (2015) Static, dynamic and inoculum augmented respiration based test assessment for determining in-vessel compost stability, *Waste Management*, 42, 3-9. doi.or/10.1016/j.wasman.2015.04.027.

- [3] Kumar V., Hart A.J., Wimalagena T.T., Tuckar G.A., Greetham, D. (2015) Expression of RCK2 MAPKAP (MAPK-activated protein kinase) rescues yeast cells sensitivity to osmotic stress, *Microbial Cell Factories*. Vol. 14, Issue 85. doi.org/10.1186/s12934.915-0276-7
- [4] Nikaeen M, Nafez AH, Bina B, Nabavi BF, Hussanzadeh, A. (2015) Respiration and enzymatic activities indicators of stabilization of sewage sludge composting, *Waste Management*, 39, 104-110. doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.028.
- [5] Fornes F, Hernandez-Mendoza D, García-de-la-Fuente R, Abad M, Belda, R.M. (2012) Composting versus vermicomposting : A comparative study of organic matter evolution through straight and combined process, *Bioresource Technology*, 118, 296-305. Doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.028.
- [6] Singh S., Singh J., Vig P.A. (2016) Earthworm as ecological engineers to change the physico-chemical properties of soil: Soil vsvermicast, *Ecological Engineering*, 90, 1-5. dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.072.
- [7] Reyes A.D.Y., Mora H.M.E., Lugo J., Del Aguila P. (2020). Estabilización por vermicomposteo de lodo residual aplicados en la productividad de albahaca (*Ocimum basilicum L.*). *Rev. Int. Contam. Ambie*, 36, 371-381. doi: 10.20937/RICA.53537.
- [8] Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta), especificaciones y métodos de prueba, ver en línea: Microsoft-word-nmx-ff-109-scfi-2008.doc.pdf: Recuperado el 06-04-20.
- [9] Alef K., Nannipieri P. (1995) *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press Elsevier Ltd pp 608. doi.org/10.1016/B978-0-12-513840-6.X5014-9.
- [10] Johnson JL, Temple, K.L. (1964) Some variables affecting the measurement of “Catalase activity” in soil. *Soil Science Society of American Proceeding*, 28, 207-209. doi.10.2136/sssaa/1964.03615995002800030024X.
- [11] Tabatabai MA, Bremner, J.M. (1972) Assay of urease activity in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 4(4), 479-487. doi.org/10.1016/0038-071(72)90064-8.
- [12] García-Sánchez M, Tausnerova H, Hanc A, Tlustos, P. (2017) Stabilization of different starting materials through vermicomposting in a continuous-feeding system: Changes in chemical and biological parameters, *Waste Manegement*, 62, 33-42. Doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.008.
- [13] Pérez-Godínez E.A., Lagunes-Zárate J., Corona-Hernández, J. (2017) Growth and reproductive potential of *Eisenia foetida* (Sav) on various zoo animal dungs after two mwthods of pre-composting fallowed by vermicomposting, *Waste Management*, 64, 67-78. dx. Doi. Org/10.1016/j.wasman.2017.03.036.
- [14] Absar N., Kaur R., Singh A.K., Khan N., Singh, S. (2016) Optimization of seed rate and seedling establishment technique for raising the nursery of French basil (*Ocimum basilicum L.*), *Industrial Crops and Products*, 85, 109-197. dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.011.
- [15] Beesley, L. (2014) Respiration (CO₂ flux) from urban and peri-urban soils amended with green waste compost. *Geoderma*, s223-225, 68-72. doi:10.1016/j.geoderma.2014.01.024.
- [16] Danes J., Tremier A., Nenasseri-Aubry S., Walter C., Gratteau L., Barrington, S. (2015) Numerical simulation of organic waste aerobic biodegradation: A new way to correlate respiration kinetics and organic, *Waste Managemnet*, 36, 44-56. Dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.013
- [17] Tejada M, Gómez I, Franco-Andreu L, Benitez, C. (2015). Role of different earthworms in a soil polluted with oxyfluorenherbicide. Short-time response on soil biochemical properties. *Ecological Engineering*, 86, 39-44. Doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.058.

- [18] Hosseinzadeh R.S., Mariri H., Ismaili, A. (2018) Evaluation of photosynthesis, physiological and biochemical responses of chickpea (*Cicerarietinum L. cv. Pirouz*) under water deficit stress and use of vermicompostfertilizier, *Journal of Integrative Agriculture*, 17(11), 2426-2437. doi: 10.1016/S2095-3119(17)61874-4.
- [19] Kiran, S. (2019) Some morphological, physiological and biochemical parameters of lettuce (*Lactuca sativa var. crispa*) under drought stress, *Not Bot HortiAgrobo*, 47(2), 352-358. doi.org/10.15835/nbha47111260.
- [20] Sudkolai S.T., Nourbakhsh, F. (2017) Urease activity as in index assessing the maturity of cow manure and wheat residue vermicompost, *Waste Management*, 64, 63-66. Doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.011.
- [21] Uz I., Tavali, I.E. (2014) Application on biological properties of an alkaline soil with high lime content from Mediterranean Region of Turkey, *The Scientific Wordl Journal*, 1-11. Dx.doi.org/10.1155/2014/395282.
- [22] Hu B, Liang D, Liu J, Lei L, Yu, D. (2014) Transformation of heavy metal fractions on soil urease and nitrate reductase activities in copper and selenium co-contaminated soil, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 110, 41-48.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.08.007.

Efecto de la vermicomposta en las propiedades bioquímicas de un suelo de cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

¹ Samantha Medina-Hernández, ¹Rocio Vaca Paulin, ¹Jorge Lugo de la Fuente, ¹Gustavo Yañez Ocampo, ²Martha Elena Mora Herrera, ¹Pedro Del Aguila Juárez

¹ Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario núm.100, Estado de México, CP 50200. delaguila.1959@gmail.com

² Centro Universitario UAEM Tenancingo. Hacienda de Santa Ana Tenancingo Estado de México.

Resumen

El presente trabajo se fundamenta en un estudio bioquímico de un suelo de cultivo de papa (*Solanum Tuberosum*), probando 5 tratamientos donde 3 contienen cantidades diferentes de vermicomposta: TP20 (20 t/ha), TP40 (40 t/ha) y TP60 (60 t/ha), más 2 controles el CP+ (suelo solo) y CP- (sustrato comercial), manejando dos tiempos: inicial (durante el trasplante) y final (brote de los tubérculos). Se analizó parámetros químicos y bioquímicos: pH, conductividad eléctrica (CE), la materia orgánica (MO), actividad enzimática de ureasa, catalasa, y actividad respiratoria. El estudio estadístico de LSD explicó que el pH y CE muestran diferencias significativas (con un $p < 0.05$) entre los tratamientos, pero todos los tratamientos se encontraron dentro de la NOM-021-SEMARNAT 2000. La MO adicionada a los tratamientos favoreció al suelo y este se relacionó con los parámetros bioquímicos. La actividad de la ureasa en el tiempo final presentó una mayor actividad enzimática en TP60 y se vinculó con una mayor cantidad de MO presente en ésta. La actividad de la catalasa fue mayor en los controles, mientras que los tratamientos con vermicomposta no lo presentaron; esto es debido a que en ellos, estaban presentes en el suelo y por el suministro de la vermicomposta. Para la actividad respiratoria del suelo, sólo TP40 presentó la mayor actividad respiratoria que favoreció el proceso de mineralización, con respecto a los otros tratamientos. Por lo que la dosis más apropiada para el cultivo de la papa es TP40, debido sus parámetros bioquímicos aceptables.

Palabras Clave: vermiestabilización, enzimas, actividad respiratoria.

1. Introducción

Actualmente, se conocen alternativas para transformar y reutilizar los residuos sólidos orgánicos en productos como la vermicomposta que se considera un producto noble al ambiente e incluso más rentable que los fertilizantes inorgánicos y puede resultar más económico [1]. El vermicomposteo es una técnica biotecnológica que se lleva a cabo mediante un proceso biooxidativo de la materia orgánica (MO), donde participa la lombriz de tierra y microorganismos que dentro del intestino de la lombriz transforman y estabiliza la MO y donde tienen lugar la mineralización [2]. La vermicomposta como enmienda del suelo mejora las propiedades físicas y químicas de este y lleva a cabo el equilibrio del agua y aumenta la disponibilidad de nutrientes para los cultivos, mejorando los rendimientos. Así también se conoce de la vermicomposta que se relaciona con los cambios de las propiedades microbianas del suelo y el hábitat y función de los microorganismos [3]. La enmienda cumple con el papel de adición de materiales orgánicos a los suelos para recuperar el carbono perdido y auxilia también a la dinámica de este elemento en el suelo; por ejemplo, el aumento del carbono soluble derivado de insumos orgánicos puede estimular la mineralización del suelo, induciendo una mejor respiración en el mismo [4]. Los microorganismos que se encuentran presentes en el suelo liberan una amplia gama de enzimas como es la ureasa y catalasa entre otras que cumplen la función de polimerizar compuestos de origen orgánico y a la vez dan información sobre el estrés del suelo y presentan un potencial en la restauración del mismo. Las enzimas como la

catalasa se relacionan con la mineralización del carbono y si está presente la MO proveniente de la vermicomposta se incrementa la actividad de dicha enzima [5], por otra parte la enzima ureasa en presencia de la MO presente en la vermicomposta, tiende a disminuir su actividad debido a que los compuestos ricos en N fueron consumidos o mineralizados, pero si se da una nueva recarga de materia orgánica al sistema, esta enzima recobra su actividad [6]. Por lo que el objetivo del presente estudio es determinar cuál es el tratamiento más adecuado para el cultivo de papa mediante la evaluación de parámetros bioquímicos.

2. Metodología

2.1 Materia prima: lodos residuales, estiércol y suelo

La vermicomposta de este estudio fue facilitada por el departamento de Fisiología Vegetal del Centro Universitario Tenancingo de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) y cabe mencionar que esta vermicomposta estuvo compuesta por: lodo residual proveído de la planta tratadora de aguas residuales municipales Toluca Norte (ver Figura 1), el estiércol equino fue obtenido del Hípico de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia de la UAEM (ver Figura 2) en una proporción de 30:70 (v/v).



Figura 1. Sitio de colecta del lodo residual en la planta de tratamiento ECOSyS, Toluca Estado de México.



Figura 2: Sitio de colecta del estiércol equino en instalaciones de Hípico de la Facultad de Medicina y Veterinaria de la UAEMex

La vermicomposta contiene una relación de 30 % de lodo residual y 70 % de estiércol equino, por lo que se sugirió como biofertilizante para este estudio. Así también se contó con la especie de lombriz de tierra (*Eisenia foetida*), la cual se adicionó a los residuos orgánicos en una proporción de 25 lombrices jóvenes en edad reproductiva (3 a 5 cm de longitud) en recipientes de un volumen de 10 L que contenían los residuos orgánicos. Los parámetros que validaron la estabilidad de la vermicomposta fueron: el pH, conductividad eléctrica (CE) y materia orgánica (MO) y hasta su maduración que fue de 75 días de acuerdo a Reyes y colaboradores [7]. El suelo que se utilizó fue de tipo vertisol de textura Franco-Arenosa (F-A) para el cultivo en invernadero que se colectó en el Centro Universitario de Tenancingo de la UAEMex en una parcela de una hectárea empleando un muestreo sistemático (ver Figura 3).

2.2 Sitio de trabajo y montaje del experimento

El estudio se realizó en el Invernadero perteneciente al Centro Universitario de Tenancingo de la UAEMex (ver Figura 3) y la vermicomposta, agrolita que proviene de la roca volcánica vítrea llamada roca Perlita expandida y sirve para retener la cantidad de agua, y el Peat moss que se considera un sustrato orgánico que contiene un musgo del género *Sphnum* que favorece las propiedades del suelo y mejorar su rendimiento, fueron suministradas por personal del Laboratorio de Fisiología Vegetal del mismo Centro Universitario.



Figura 3: Invernadero de la Unidad Académica de Tenancingo de la UAEMex.

En el invernadero se contó con dos mesas para colocar las 30 macetas de los 5 tratamientos y a cada maceta se adicionó aproximadamente 5 kg de los componentes (suelo, agrolita Peat moss y vermicomposta) variando la dosis de estos con base al tratamiento correspondiente. El diseño que se llevó a cabo en el experimento fue de bloques completamente al azar y se etiquetaron como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Composición de los 5 tratamientos enmendados con vermicomposta en el cultivo de la papa

Tratamientos	Suelo (kg)	Agrolita (kg)	Vermicomposta (g)
CP+ (Suelo agrícola)	4	1	Ausente
CP- (Peat moss)	4	1	Ausente
TP20 (20 t/Ha)	3.708	1	292
TP40 (40 t/Ha)	3.416	1	584
TP60 (60 t/Ha)	3.124	1	876

CP+: control positivo, CP-: control negativo, TP: tratamiento de papa, 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta.

La colecta de las muestras de cada tratamiento para los estudios de la actividad respiratoria y enzimática se llevaron en dos tiempos: un tiempo inicial antes del trasplante de la papa y el tiempo final a los 80 días y corte de la planta de papa. En la primera colecta fue de 120 g aproximadamente por cada maceta a partir de la parte central de esta y a una profundidad de 0-15 cm (vertical) y para la colecta del tiempo final se ocupó la misma cantidad de muestra y se tomó no cerca del borde de la maceta ni de la planta. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico donde se etiquetaron para ser trasladado al laboratorio y luego se congelaron a -3°C para su conservación y posterior análisis.

2.3 Análisis químico de las muestras de vermicomposta con suelo del invernadero

Los parámetros químicos que se analizaron se sujetaron de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 [8]. Las muestras de vermicomposta se etiquetaron en dos tiempos (inicial y final) y se les evaluó los parámetros fisicoquímicos: la humedad, el pH (1/10 sustrato / agua), conductividad eléctrica (medidor de conductividad EC Hanna EC / TDS / Temp) y el C orgánico por el método de ignición.

2.4 Determinación de la respiración

Para determinar el CO₂ desprendido, se valoró el NaOH con HCl de normalidad conocida (0.1N) y parecida al NaOH, puesto que el CO₂ producido es atrapado por el NaOH, generándose Na₂CO₃ procedente de la respiración de la muestra. Posteriormente se cerraron los recipientes y se llevaron a una estufa durante 20 días, se determinó el CO₂ desprendido cada tercer día. Se tomó una alícuota de 2 mL de los viales de NaOH procedentes de la incubación de cada una de las muestras y de los blancos. Se añadió 1 mL de BaCl₂ al 20 %, el cual facilitó la precipitación de los carbonatos y un poco de agua destilada. La solución resultante se valoró con HCl, que se adicionó lentamente para evitar una posible dilución del BaCO₃ precipitado de acuerdo con Alef y Nannipieri [9].

2.5 Determinación de la catalasa y ureasa

La actividad de la catalasa se determinó por el método propuesto por Johnson y Temple que se basa en la adición de H₂O₂ a la muestra y su incubación a 20°C en el cual actúa la enzima, provocando la descomposición del H₂O₂ en H₂O y O₂ [10]. La actividad de la ureasa se determinó de acuerdo con método de Tabatabaia y Bremner [11] que se fundamenta en la determinación del amonio liberado después de la incubación de las muestras de suelo con solución de urea por 2 horas a 37°C (parámetros óptimos para la actividad de la enzima).

2.6 Análisis estadístico

Se realizó una estadística descriptiva (media, desviación estándar y gráficas) de los parámetros fisicoquímicos y de la actividad biológica (respiración y enzimas). Se aplicó una ANOVA y posterior la prueba de LSD para conocer las diferencias fisicoquímicas entre los tratamientos. Para la actividad respiratoria se graficó y posteriormente se comparó los dos tiempos (inicial y final) aplicando una “t de student dependiente”. Para las enzimas aplicó sólo la misma prueba anterior y los datos se trabajaron con un intervalo de confianza del 95% ($p < 0.05$) en el paquete de datos Statgraphics Centurion XVI.

3. Resultados y discusión

Se realizó el análisis de pH en muestras de suelo de cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en un tiempo inicial (trasplante de la planta a la maceta) y un tiempo final (6 meses). En el tiempo inicial (ver Figura 4) se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), siendo los tratamientos TP20 (7.5 ± 0.1), TP40 (7.5 ± 0.2) los que presentaron los valores de pH más altos, con respecto a TP60 (7.3 ± 0.1), CP+ (7.3 ± 0.3) y CP- (7.2 ± 0.09). De acuerdo con la norma NMX-FF-109-SCFI-2007, el pH de los

tratamientos está dentro de un rango de neutralidad (entre 6.6 y 7.3), lo que indica una adecuada disponibilidad de nutrientes y está de acuerdo con Silva y colaboradores [12]. Para el tiempo final también se encontraron diferencias ($p < 0.05$), el tratamiento CP- (7.1 ± 0.07) fue el valor más alto con respecto a todos los demás, mientras que TP40 tuvo (7.02 ± 0.1), TP60 (7.08 ± 0.2), TP20 (6.8 ± 0.4) y finalmente CP+ (6.4 ± 0.2) con el valor más bajo.

El comportamiento del pH tiene una tendencia de disminuir en todos los tratamientos al final del estudio y cumple con la norma. El pH puede modificar la disponibilidad de los nutrientes para que las raíces de las plantas puedan absorber los distintos nutrientes que deben estar disueltos y por otra parte valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas [13]. Según estudios de Donoso [14] a un pH menor a 5.3 se producen dificultades en la absorción de Ca y Mg y por lo tanto las principales bases son reemplazadas por iones H^+ , lo que intensifica un lavado de bases y movilización de aluminio. Así también si se tienen altas concentraciones de H^+ producen cambios en la abundancia y actividad de los organismos del suelo, donde bacterias y lombrices disminuyen su actividad y prevalecen los hongos asociado a una baja diversidad específica [15].

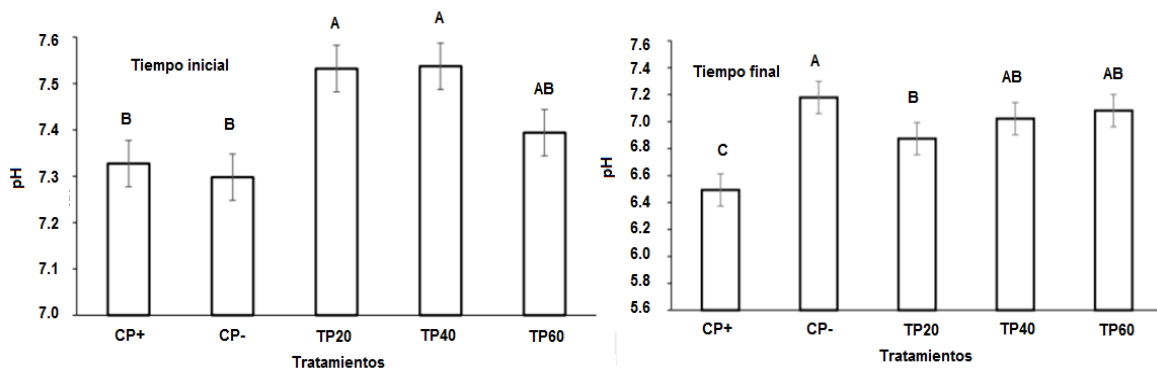


Figura 4. Comportamiento del pH en los tratamientos durante el cultivo de la planta de papa. El tiempo inicial se da en el trasplante de la plántula de la papa y el tiempo final es a los 6 meses. Las literales diferentes indican diferencia entre tratamientos con $p < 0.05$ de la prueba de LSD. CP+: control positivo, CP-: control negativo, TP: tratamiento de papa, 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta.

Como se muestra en la figura 5 la CE presentó en los tratamientos diferencias significativas ($p < 0.05$) para los dos tiempos: en el tiempo inicial el control CP- (3.3 ± 0.1 dS/m) exhibió la mayor conductividad con respecto al resto de los demás tratamientos, CP+ (1.2 ± 0.1 dS/m), TP20 (1.1 ± 0.4 dS/m), TP40 (1.1 ± 0.2 dS/m) y TP60 (1.3 ± 0.4 dS/m) los cuales presentaron valores similares entre ellos. Para el tiempo final la CE de CP- (3.8 ± 0.9 dS/m) fue mayor con respecto al resto de los tratamientos (CP+ (1.6 ± 0.4 dS/m), TP20 (1.3 ± 0.3 dS/m), TP40 (1.4 ± 0.3 dS/m) y TP60 (1.5 ± 0.3 dS/m)).

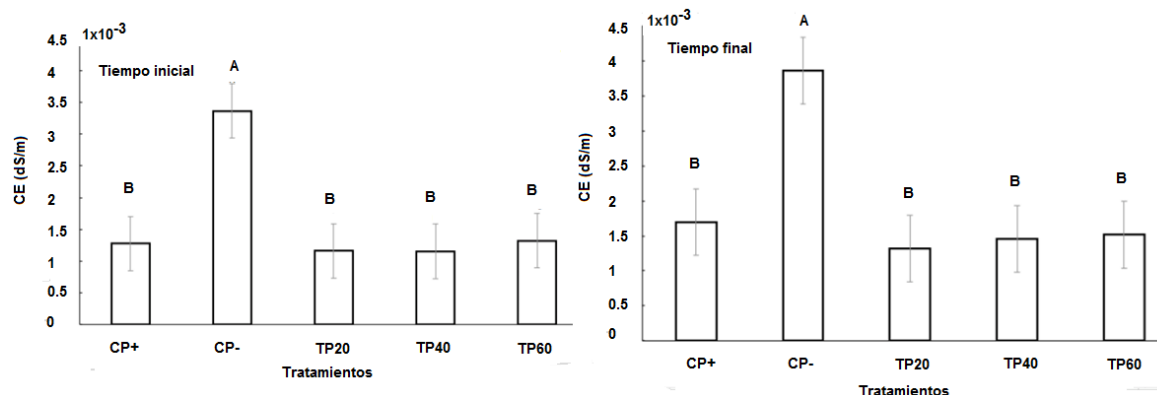


Figura 5. Comportamiento de la CE de los tratamientos durante el cultivo de la planta de papa. El tiempo inicial se da en el trasplante de la planta de la plántula y el tiempo final es a los 6 meses. Las literales diferentes indican diferencia entre tratamientos con $p < 0.05$ de la prueba de LSD. CP+: control positivo, CP-: control negativo, TP: tratamiento de papa, 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta.

Cabe señalar que la CE se considera un indicador de madurez y estabilidad de la vermicomposta, un aumento de esta en los tratamientos podría ser debido a la liberación de diferentes sales minerales en formas disponibles, como fosfato, amonio y potasio como sucede comúnmente con los fertilizantes insolubles estando de acuerdo con Garg y colaboradores [16], aunque un alto contenido de sales conduce a la fitotoxicidad [17].

En la Figura 6 se observa que los contenidos de MO presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para los dos tiempos; el tiempo inicial el porcentaje de MO más alto residió en TP60 ($22.7 \pm 1\%$) con respecto a los demás tratamientos los valores obtenidos fueron: CP+ ($16.5 \pm 1\%$), CP- ($16.5 \pm 0.8\%$), TP20 ($16.3 \pm 1.3\%$) y TP40 ($16.6 \pm 1.06\%$). Para el tiempo final los tratamientos que contenían vermicomposta fueron los que presentaron un contenido de MO mayor y similar: TP20 ($22.8 \pm 4.9\%$), TP40 ($24.5 \pm 2.6\%$) y TP60 ($22.6 \pm 3.7\%$) con respecto a los controles: CP+ ($17.4 \pm 0.4\%$) y CP- ($17.6 \pm 1.53\%$). Al comparar el tiempo final con respecto al inicial hubo un aumento del contenido de MO en los tratamientos con vermicomposta que concuerda con estudios de Liu y colaboradores [18]. También se le atribuye este aumento de la MO una mejor disponibilidad de los nutrientes (en particular N, P y K), y a excelentes condiciones físicas del suelo. Los resultados de Julca-Otiniano y colaboradores [19] coinciden con este estudio, argumentando que el aumento de la MO beneficia al suelo por el incremento de la biomasa microbiana del suelo y nutrientes como: Ca, Mg, Mn, Cu y Zn que se encuentran en la vermicomposta.

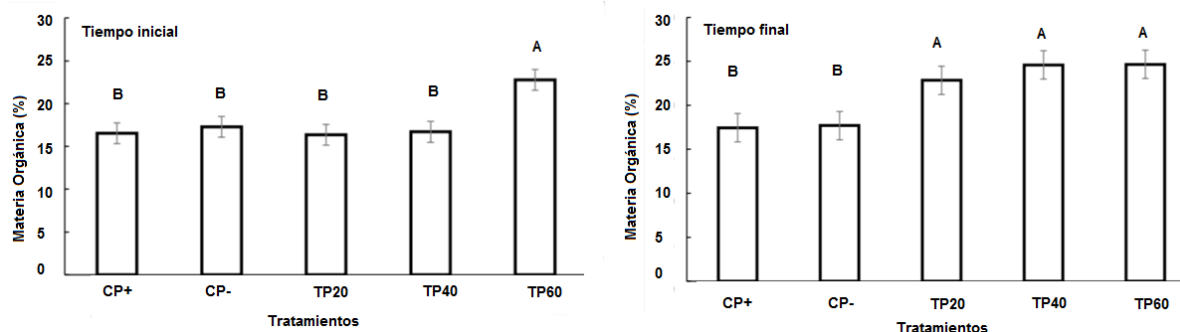


Figura 6. Comportamiento de la materia orgánica en los tratamientos durante el cultivo de la papa. El tiempo inicial se da en el trasplante de la plántula de la papa y el tiempo final es a los 6 meses. Las literales diferentes indican diferencia entre tratamientos con $p < 0.05$ de la prueba de LSD. CP+: control positivo, CP-: control negativo, TP: tratamiento de papa, 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta.

La actividad enzimática de ureasa se comparó los dos tiempos en los tratamientos (ver Figura 7) y no presentaron diferencias significativas, pero si se encontró una tendencia de disminución de esta enzima al final del estudio, excepto el tratamiento que contenía más contenido de vermicomposta TP60.

Esta uniformidad en la actividad de la ureasa puede deberse a que los microorganismos comienzan a adaptarse al medio y se encuentran en una fase de latencia, la cual puede durar varias horas o incluso días que se aprueba con los estudios de Madigan y colaboradores [20]. Autores como Tabatabaia y Bremner [21] comentan que la actividad enzimática de la ureasa puede llegar a disminuir considerablemente ya que los sustratos nitrogenados se consumen en los primeros meses del proceso de degradación de la materia orgánica en el suelo.

Pero para el tiempo final, la actividad enzimática de la ureasa si presentó diferencias ($p < 0.05$) siendo TP60 ($14.6 \pm 2.3 \mu\text{g de NH}_4/\text{g h}$) la mayor actividad con respecto a los otros tratamientos CP+ ($7.8 \pm 2.3 \mu\text{g de NH}_4/\text{g h}$), CP- ($6.7 \pm 1.5 \mu\text{g de NH}_4/\text{g h}$), TP20 ($8.4 \pm 1.9 \mu\text{g de NH}_4/\text{g h}$) y TP40 ($7.8 \pm 3.08 \mu\text{g de NH}_4/\text{g h}$). Así también al hacer la comparación entre los dos tiempos, hubo diferencias en todos los tratamientos, sin embargo, sólo en TP60 ($p < 0.05$) el de mayor dosis de vermicomposta incrementó su actividad enzimática de la ureasa, no así se presentó en los otros tratamientos. Estudios de Sudkolai y Nourbarkhsh [22] indican que la actividad enzimática de la ureasa aumenta cuando se tiene una mayor dosis de vermicomposta en el suelo de cultivo.

La baja actividad de la enzima puede deberse a una posiblemente presencia de amoníaco (producto de la reacción enzimática de la ureasa) en el suelo, ya que a una menor dosis de vermicomposta existe un agotamiento de nutrientes más rápido incluido el nitrógeno (elemento ligado a la actividad ureasa), este compuesto puede motivar la disminución de la actividad de ureasa de acuerdo con Hu y colaboradores [23], así como a Nikaeen y colaboradores [24].

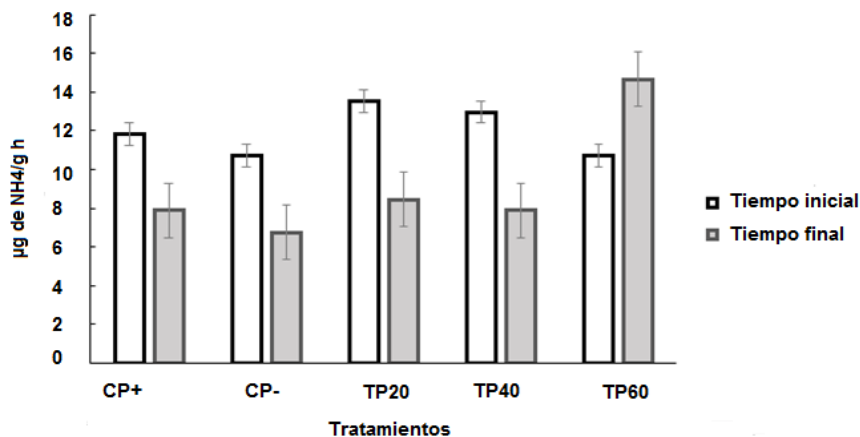


Figura 7. Comportamiento de la actividad de la ureasa entre los dos tiempos de los tratamientos en el cultivo de la planta de la papa. El tiempo inicial se da en el trasplante de la plántula de la papa y el tiempo final es a los 6 meses. Se hizo una prueba de t-student con $p < 0.05$. CP+: control positivo, CP-: control negativo, TP: tratamiento de papa, 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta.

La actividad de la catalasa al ser comparada en los dos tiempos se observó (Figura 8) un comportamiento no uniforme, pero cabe señalar que si presentó diferencias significativas ($p < 0.05$), para el tiempo inicial el tratamiento control CP+ (0.04 ± 0.01 moles de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{g h}$) presentó la mayor actividad enzimática seguida por otros 4 tratamientos: CP- (0.02 ± 0.007 moles de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{g h}$), TP20 (0.02 ± 0.007 moles de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{g h}$), y TP60 (0.02 ± 0.01 moles de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{g h}$) con valores similares entre ellos y sólo TP40 (0.01 ± 0.008 moles de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{g h}$) mostró la más baja actividad enzimática. Con respecto a este tiempo, la mayor actividad enzimática del control C+ es debido a que los microorganismos ya están adaptados al medio edáfico, razón por la cual su estado de latencia es muy corto y esto concuerda con Kumar y colaboradores [25].

En el tiempo final el tratamiento le correspondió a CP⁻ (0.04 ± 0.007 moles de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{g h}$) con una mayor actividad enzimática, mientras que el resto de los tratamientos tuvo valores menores y similares entre ellos: CP⁺ (0.03 ± 0.01 moles de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{g h}$), TP20 (0.03 ± 0.02 moles de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{g h}$), TP40 (0.02 ± 0.01 moles de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{g h}$) y TP60 (0.02 ± 0.007 moles de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{g h}$).

En este segundo tiempo los tratamientos control contienen microorganismos y enzimas que tienen que hacer disponible a los nutrientes en comparación con los tratamientos que contienen vermicomposta, en estos el carbono está disponible, por lo que los microorganismos no necesitan mucho de la enzima catalasa para liberarlo [26]. La actividad enzimática catalasa suele emplearse para estudiar el metabolismo de los microorganismos que están presentes en el proceso de vermicompostaje, debido a su alta sensibilidad a los diferentes cambios ambientales que pueden llegar a presentarse [26] y [27]. La baja actividad de la enzima en los tratamientos con las diferentes dosis de vermicomposta puede deberse a que se encuentra en un estado estacionario, donde la población de microorganismos no presenta un incremento ni un descenso neto en el número de células, ya que el número de células que mueren es proporcional al que crece [28].

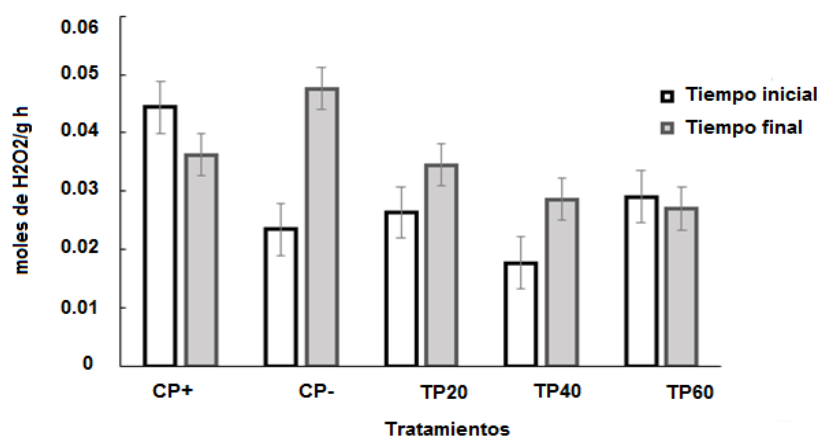


Figura 8. Comportamiento de la actividad de la catalasa en el cultivo de la papa entre los dos tiempos de los tratamientos en el cultivo de la planta de papa. El tiempo inicial se da en el trasplante de la planta de papa y el tiempo final es a los 6 meses. Se hizo una prueba de t-student con $p < 0.05$. CP⁺: control positivo, CP⁻: control negativo, TP: tratamiento de papa, 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta.

La actividad respiratoria como se muestra en la figura 9 presentó un comportamiento similar en los dos tiempos. Pero para en el tiempo inicial la mayor actividad respiratoria le corresponde a TP40 (329.7 ± 67.1 mg de $\text{CO}_2/100\text{g}$ de suelo) seguido de CP⁻ (304.04 ± 38.9 mg de $\text{CO}_2/100\text{g}$ de suelo), TP60 (272.1 ± 44.9 mg de $\text{CO}_2/100\text{g}$ de suelo), TP20 (246.1 ± 40.7 mg de $\text{CO}_2/100\text{g}$ de suelo) y finalmente CP⁺ (233.9 ± 132.8 mg de $\text{CO}_2/100\text{g}$ de suelo).

En este primer tiempo la actividad respiratoria refleja un comportamiento lineal en los primeros dos días, a partir del día 2 hasta el 8 el comportamiento es de tipo exponencial, llegando al inicio de la fase estacionaria a partir del día 8 en adelante observado un crecimiento menos exponencial. Estudios de Tadano y colaboradores [28] como de Kolilis y colaboradores [29] señalan que la concentración de CO_2 que se produce al principio en el suelo es alta debido a que la población microbiana se reproduce a gran velocidad a partir de la asimilación de la materia orgánica.

Para el tiempo final el tratamiento TP40 (249.4 ± 20.2 mg de $\text{CO}_2/100\text{g}$ de suelo) tuvo una mayor actividad respiratoria, seguido de CP⁻ (285.3 ± 52.2 mg de $\text{CO}_2/100\text{g}$ de suelo), TP60 (242.3 ± 47.4 mg de $\text{CO}_2/100\text{g}$ de suelo), TP20 (247.3 ± 50.7 mg de $\text{CO}_2/100\text{g}$ de suelo) y finalmente CP⁺ (180.2 ± 22.9 mg de $\text{CO}_2/100\text{g}$ de suelo).

En el tiempo final el comportamiento de la actividad respiratoria es similar a la inicial, es decir refleja una curva de crecimiento microbiano que está de acuerdo con Zhang y colaboradores [30], sin embargo la

actividad respiratoria en el tiempo final fue menor al anterior, esto debido posiblemente a que los microorganismos terminaron por estabilizar la MO dado por finalizado el proceso de mineralización y humificación.

Con relación a la actividad respiratoria en TP40 existe una mayor cantidad de carbono lábil, no así para TP60 este presentó carbono recalcitrante originario y de repoblación de microorganismos así como una saturación de residuos orgánicos que se inclinaron a una fase estacionaria más rápido que los otros tratamientos que está de acuerdo con Aspray y colaboradores [31]. La aplicación de enmiendas orgánicas como la vermicomposta, no solo se incrementa la MO del suelo si no que permite el incremento de la vegetación natural para mantener la biomasa microbiana alta.

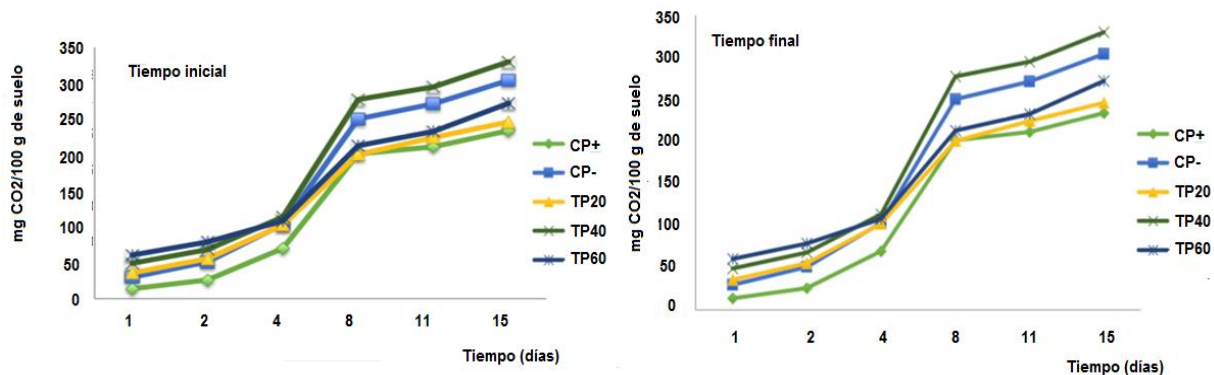


Figura 9. Comportamiento de la actividad respiratoria en los tratamientos durante el cultivo de la planta de albahaca. Símbolos indican la dosis de vermicomposta y los controles de cada uno de los cinco tratamientos. El tiempo inicial se da en el trasplante de la planta de albahaca y el tiempo final es a los 6 meses. CP+: control positivo, CP-: control negativo, TP: tratamiento de papa, 20, 40 y 60 t/ha de vermicomposta.

4. Conclusiones

Los parámetros químicos: pH, CE y MO estuvieron dentro de la norma para el uso como enmienda en el cultivo de la papa. El porcentaje de MO fue un indicador de la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo, donde TP40 al final del estudio fue la que aportó el mayor porcentaje y tuvo una respuesta favorable con respecto a los otros tratamientos siendo de un 7% mejor en su contenido de MO. La actividad respiratoria es un indicador que tiene que ver con el carbono lábil existente en el suelo y TP40 presentó el mayor valor, por lo que es el tratamiento que favoreció el proceso de mineralización con respecto a los demás.

En cuanto a la enzima ureasa la actividad fue similar en todos los tratamientos al inicio del estudio, mientras que en el tiempo final solo TP60, presentó la mayor actividad con respecto a los otros tratamientos, lo que indica que a mayor dosis de vermicomposta se incrementa la población microbiana. La enzima catalasa presenta una respuesta favorable para los controles no así para los que contenían dosis de vermicomposta. De los tratamientos analizados se pudo determinar que el tratamiento con mejor actividad biológica es el tratamiento TP40 considerando los parámetros bioquímicos y su relación con la MO.

5. Referencias bibliográficas

[1] Gross, A., Guy, O., Dosmanik, R., Fine, P., Nejdat, A. (2012) A Novel method for combined biowaste stabilization and production of nitrate-rich liquid fertilizer for use in organic horticulture. *Water Air Pollution*, 223, 1205-1214. doi: 10.1007/s11270-011-0938-y.

- [2] Fornes, F., Hernández-Mendoza, D., García-de-la-Fuente, R., Abad, M., Belda, RM, (2012) Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined process. *Bioresource Technology*, 118, 296-305. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.028>.
- [3] Xue, D., Huang, X. (2013) The impact of sewage sludge compost on tree peony growth and soil microbiological and biochemical properties. *Chemosphere*, 93,583-589. doi: 10.1016/j.chemosphere.
- [4] Sánchez-García, M., Alborquerce, J.A., Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Cayuela, M.I. (2015) Biochar accelerates organic matter degradation and enhances N mineralization during composting of poultry manure without a relevant impact on gas emissions, *Bioresource Technology*, 192, 272-279. [doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.003](http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.003).
- [5] Ouni, Y., Lakhdar, A., Scelza, R., Scotti, R., Abdelly, Ch., Barhoumi, Z., Rao, M.A. (2013) Effect of two compost and two grasses on microbial biomass and biological activity in a salt-affected soil. *Ecological Engineering*, 60, 363-369. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.002>.
- [6] Hosseinzadeh, R.S., Mariri, H., Ismaili, A. (2018) Evaluation of photosynthesis, physiological and biochemical responses of chickpea under water deficit stress and use of vermicompost fertilizer. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(11), 2426-2437. doi: 10.1016/S2095-3119(17)61874-4.
- [7] Reyes, A.D.Y., Mora, H.M.E., Lugo, J., Del Aguila, P. (2020) Estabilización por vermicomposteo de lodo residual aplicados en la productividad de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Rev. Int. Contam. Ambie*, 36, 371-381. doi: 10.20937/RICA.53537.
- [8] Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta), especificaciones y métodos de prueba, ver en línea: www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2007/nmx-ff-109-scfi-2008.pdf <Recuperado el (06-04-20).
- [9] Alef, K., Nannipieri, P. (1995) *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press Elsevier Ltd pp 608. doi.org/10.1016/B978-0-12-513840-6.X5014-9.
- [10] Johnson, JL, Temple, K.L. (1964) Some variables affecting the measurement of “Catalase activity” in soil. *Soil Science Society of American Proceedings*, 28, 207-209. doi:10.2136/sssai1964.03615995002800030024X.
- [11] Tabatabai, MA, Bremner, J.M. (1972) Assay of urease activity in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 4(4), 479-487. [doi.org/10.1016/0038-0717\(72\)90064-8](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(72)90064-8).
- [12] Silva, de M. C.M.S., Lorin, H.E.F., de Monduca, C.L.A., Cestonaro, T., Pereira, D.C., Bernardi, F.H.(2016) Performance of four stabilization bioprocesses of beef cattle feed lot manure. *Journal of Environmental Management*, 181, 443-448. Doi.org/10.1016/j.envman.2016.07.003.
- [13] Sosa, V. (2012) Efectos de la adición de vermicomposta en la mineralización de carbono y biomasa microbiana en un suelo agrícola. *Centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional, Unidad Michoacán, Instituto Politécnico Nacional*, 41-57.
- [14] Donoso, C. (2013) *Ecología forestal: El bosque y su medio ambiente*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 309 pp.
- [15] Rivas, Y., Oyarzún, C., Godoy, R., Valenzuela, E. (2009) Mineralización del nitrógeno, carbono y actividad enzimática del suelo en un bosque de *Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst y una plantación de *Pinus radiata* D. Don. Del centro-sur de Chile. *Revista de Historia Natural de Chile*, 82(1), 119-143. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2009000100008>.
- [16] Garg, P., Gupta, A., Satya, S. 2005. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*, 97, 391-395. doi: 10.1016/j.biortech.2005.03.009.

- [17] Barrena, R., Font, X., Gabarrell, X., Sánchez, A., (2014) Home composting versus industrial composting: influence of composting system on compost quality with focus on compost stability. *Waste Management*, 34, 1109–1116. doi: 10.1016/j.wasman.2014.02.008.
- [18] Liu, C., Meng, L.M., Cui, J., Li B., Fang, C. (2014) Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 20, 1366–1381. <https://doi.org/10.1111/gcb.12517>.
- [19] Julca-Otiniano, Alberto, Meneses-Florián, Liliana, Blas-Sevillano, Raúl, & Bello-Amez, Segundo. (2006) La materia orgánica , importancia y experiencia de uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>.
- [20] Madigan, M., Guerrero, R., Barrachina, C. and Ruiz Berraquero, F. (2009). Brock biología de los microorganismos. 12th ed. Madrid: Pearson Educación, pp.163-165, 755-757. ISBNebook:9788490352809.
- [21] Tabatabai, MA, Bremner, JM, (1972) Assay of urease activity in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 4(4), 479-487. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(72\)90064-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(72)90064-8).
- [22] Sudkolai, S.T., Nourbakhsh, F. (2017) Urease activity as in index assessing the maturity of cow manure and wheat residue vermicompost, *Waste Management*, 64, 63-66. Doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.011.
- [23] Hu, B., Liang, D., Liu, J., Lei, L., Yu, D. (2014) Transformation of heavy metal fractions on soil urease and nitrate reductase activities in copper and selenium co-contaminated soil, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 110, 41-48. doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.08.007.
- [24] Nikaeen, M., Nafez, A.H., Bina, B, Nabavi, B.F., Hussanzadeh, A. (2015) Respiration and enzymatic activities indicators of stabilization of sewage sludge composting, *Waste Management*, 39, 104-110. doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.028.
- [25] Kumar, V., Hart, A.J., Wimalagena, T.T., Tuckar, G.A., Greetham, D. (2015) Expression of RCK2 MAPKAP (MAPK-activated protein kinase) rescues yeast cells sensitivity to osmotic stress. *Microbial Cell Factories*, 14 (85). doi.org/10.1186/s12934-015-0276-7
- [26] Benitez, E, Sainz, H, Nogales, R (2005) Hydrolytic enzyme activities of extracted humic substances during the vermicomposting of a lignocellulosic olive waste. *Bioresource Technology*, 96, 785-790. doi: 10.1016/j.biortech.2004.08.010.
- [27] Tejada, M., Gómez, I., Franco-Andreu, L., Benítez, C. (2015) Role of different earthworms in a soil polluted with oxyfluorfen herbicide. Short-time response on soil biochemical properties. *Ecological Engineering*, 86, 39-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.058>.
- [28] Tadano, T., Ozawa, K., Sakai, H., et al., 1993. Secretion of acid phosphatase by the roots of crop plants under phosphorus-deficient conditions and some properties of the enzyme secreted by lupin roots. *Plant Soil*, 155/156 (1), 95–98. <https://doi.org/10.1007/BF00024992>.
- [29] Komilis D., Kontou I., Ntougias S., (2011) A modified static respiration assay and its relationship with an enzymatic test to assess compost stability and maturity. *Bioresource Technology*, 102, 5863–5872. doi: 10.1016/j.biortech.2011.02.021.
- [30] Zhang, X., Cuo, Y., Tian, Y., Li, J. (2014) Short-term compost application increases rhizosphere soil carbón mineralization and stimulates root growth in long-term continuously crupeed cucumber. *Scientia Horticulturae*, 175 (2014) 269–277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.025>
- [31] Aspray, T.J., Dimanbro, M.E., Wallace, P., Howell G., Frederickson, J. (2015) Static, dynamic and inoculum augmented respiration based test assessment for determining in-vessel compost stability. *Waste Management* , 42, 3-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.027>.

Síntesis de un material de carbón a partir de residuos de mezquite para su uso en la remoción selectiva de color del tequila añejo: hacia la producción de tequila cristalino

¹Pedro A. Ríos Hernández, ¹Walter M. Warren Vega, ²Linda V. González Gutiérrez, ³Francisco Carrasco Marín, ^{1*}Luis A. Romero Cano

¹ Grupo de Investigación en Materiales y Fenómenos de Superficie. Departamento de Biotecnológicas y Ambientales. Universidad Autónoma de Guadalajara. Av. Patria 1201, C.P. 45129. Zapopan, Jalisco, MÉXICO
* Tel: 33 3648 8824. Email: luis.cano@edu.uag.mx

² Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S. C. (CIDETEQ) Pedro Escobedo, Querétaro, MÉXICO

³ Grupo de Investigación en Materiales de Carbono. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Granada, ESPAÑA

Resumen

Con la finalidad de lograr una valorización efectiva de los desechos de madera de las plantas de mezquite, estos fueron utilizados como material precursor para la síntesis de un material de carbono útil en la remoción selectiva de color de un tequila añejo para lograr la producción de tequila cristalino. El material obtenido mostró un área superficial baja ($11 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) con canales bien definidos con un diámetro promedio de $5 \mu\text{m}$. Su composición elemental es mayoritariamente carbono (71 wt%), oxígeno (21 wt%) y nitrógeno (6 wt%), con grupos -OH, -COOH, -C=O y -NH₂ presentes en su superficie. Mediante un diseño de experimentos tipo Taguchi L9, se definieron las condiciones de operación óptimas del proceso de eliminación de color en una muestra de tequila añejo (granulometría: 1.18 – 2.00 mm y dosificación del adsorbente: 0.02 g mL^{-1}). Los resultados obtenidos posterior al proceso de adsorción mostraron un 48.5% de eliminación de la banda a 280 nm (atribuible a compuestos orgánicos) y un 63.9% de eliminación de la banda a 365 nm (atribuible a color) en el espectro UV-VIS de la muestra de tequila. Al comparar los resultados contra carbones activados actualmente comercializados para este proceso, se evidenció la selectividad del material, debido a que los carbones activados logran el 100% de eliminación de color y el 90% de eliminación de compuestos orgánicos. La selectividad del material se asocia con su textura porosa, así como con la participación de grupos nitrogenados en el mecanismo de adsorción.

Palabras Clave: Eliminación de color, Material de Carbón, Residuos de mezquite, Tequila añejo, Tequila cristalino

1. Introducción

El tequila es una bebida destilada hecha de plantas *Agave tequilana* Weber variedad azul. La planta tarda entre cuatro y seis años en alcanzar la madurez óptima para recolectarla. La cosecha consiste en un proceso también llamado "jima" en el que las hojas y raíces se cortan de la planta y luego el núcleo de agave o "piñas" se transfieren a los hornos de cocción [1]. El propósito del proceso de cocción es transformar, por medio de hidrólisis térmica/ácida, la inulina de agave en azúcares fermentables, glucosa y fructosa. Después de este proceso, los corazones de agave cocidos se trituran para extraer los jugos ricos en azúcares que contienen. Este jugo se conoce como mosto, que sirve como sustrato para el proceso de fermentación [2]. El proceso de fermentación tiene como objetivo convertir los azúcares disponibles en el mosto en etanol y otros compuestos volátiles que aportan aromas y sabores al tequila [3]. Después de la fermentación, el caldo o mosto muerto se destila. La destilación tiene como objetivo separar el alcohol del mosto fermentado y sustancias indeseables como el metanol. Una vez destilado, se diluye para regular el contenido de alcohol y finalmente, si se trata de un tequila blanco o añejo, se envasa o embarrila, respectivamente. De acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-006-SCFI-2012 [4], el tequila se divide en dos categorías según la proporción de azúcares del agave utilizado en la formulación del mosto. La

primera categoría es el *tequila 100% agave*. Sólo se pueden usar en el proceso de producción jugos cuyo contenido de azúcar sea exclusivamente de *Agave tequilana* Weber variedad azul. La segunda categoría es el *tequila*. En la formulación del mosto, estos pueden enriquecerse con otros azúcares hasta una proporción del 49%. Se excluyen los azúcares de otras especies de agave. El 51% restante de azúcares debe provenir solo de *Agave tequilana* Weber variedad azul. Asimismo, de acuerdo con las características adquiridas en el proceso de maduración después de la destilación, el tequila en sus dos categorías se puede clasificar en 5 clases: i) “Blanco” (Plata): producto transparente no necesariamente incoloro, sin aditivos, obtenido por destilación, cuyo contenido de alcohol debe ajustarse mediante dilución con agua. ii) “Joven u oro”: producto que resulta de mezclar tequila de blanco con aditivos permitidos por la norma oficial, o de la mezcla de tequila de blanco con tequilas añejos y/o extra añejos. iii) “Reposado”: sujeto a un proceso de envejecimiento de al menos dos meses en contacto directo con la madera de roble o encino. iv) “Añejo”: producto que puede mejorarse mediante el proceso de envejecimiento durante al menos un año en recipientes de madera o roble con $V \leq 600L$. v) “Extra añejo”: producto que puede mejorarse mediante el proceso de envejecimiento durante al menos tres años en recipientes de madera o roble con $V \leq 600L$ [4].

Sin embargo, en los últimos años la industria del tequila ha comenzado a innovar para entrar a otros mercados, por lo que nuevos productos se han comenzado a comercializar, tal es el caso del denominado “tequila cristalino” el cual, tiene como características particulares transparencia, cristalinidad, así como aromas y sabores que le otorgaron un proceso de maduración en barrica. Como se señala en la norma, la categoría de tequila cristalino no está clasificada en la NOM-006-SCFI-2012 sin embargo, se considera un tequila añejo o extra añejo debido a que sólo se somete a un proceso de filtración con carbón activado y dilución para eliminar el color ámbar del tequila [5].

A pesar de la falta de regulación para el tequila cristalino, este producto ha ganado gran popularidad desde 2010 cuando Casa Cuervo lanzó el Maestro Dobel Diamante, poco después de que Don Julio 70 y 1800 Cristalino fueran introducidos en el mercado. Se calcula que solo en México el mercado de tequila cristalino crece 46% al año [6]. No obstante, surge un problema crucial durante la producción de tequila cristalino; como afirman muchos productores conocidos, el carbón activado y otros materiales utilizados actualmente, eliminan además del color, un amplio espectro de compuestos aromáticos, resultando en tequila neutro que requiere la adición de fragancias para adquirir el perfil organoléptico deseado. Este problema sólo resalta la necesidad de encontrar un material avanzado que sea selectivo para solo lograr la eliminación del color durante el proceso de producción de esta bebida.

En este sentido surge la presente investigación, en la cual se ha logrado la síntesis de un material de carbono selectivo para realizar el proceso de fabricación del tequila cristalino empleando un residuo de la agricultura, desechos de la planta de mezquite. El mezquite se encuentra distribuido en más de 3.5 millones de hectáreas del norte de México e incluye las siguientes especies autóctonas: *P. glandulosa*, *P. juliflora*, *P. velutina*, *P. pubescens*, *P. reptans*, *P. articulata*, *P. tamaulipana*, *P. palmeri* y *P. Laevigata* [7].

En la mayoría del país esta planta es considerada como maleza indeseable y es combatida en algunas regiones debido a que se le atribuye una agresividad y competencia con especies forrajeras. En la actualidad se han obtenido algunos beneficios a partir de ella. Su madera se ha podido utilizar para fabricar postes, durmientes, mangos de herramientas y muebles artesanales, así mismo se ha utilizado como combustible, con graves daños al medio ambiente [7].

Si bien el uso de la madera de la planta ha otorgado grandes beneficios en aserraderos y talleres de carpintería, posterior a su procesamiento aún existe un material residual denominado viruta, el cual consiste en pequeñas láminas de madera (curvadas o en espiral) producto del tratamiento de la madera con distintas herramientas de corte. Debido a su alto contenido de carbono es posible lograr una valorización efectiva utilizándolo como material filtrante como se ha reportado en la literatura [8]. Razon por la cual la viruta

puede ser un precursor para sintetizar un material avanzado eficiente para remoción de color en la producción de tequila cristalino.

2. Metodología

2.1 Preparación del material adsorbente

Se obtuvieron residuos de madera de mezquite, los cuales se limpiaron, se cortaron en trozos pequeños y se lavaron con abundante agua destilada. El material se secó al aire y posteriormente en un horno convencional a 105 °C, durante 12 horas, para eliminar la humedad. La muestra seca se carbonizó empleando un horno que permitió un suministro limitado de aire. El tratamiento térmico se realizó a 800 °C durante dos horas. Finalmente, el material se dejó enfriar a temperatura ambiente durante cuatro horas. El material resultante se denominó como *CM*.

2.2 Caracterización del material adsorbente

El área de superficie específica (S_{BET}) del material de carbono se obtuvo mediante la isoterma de adsorción-desorción de nitrógeno a -196 °C empleando un equipo QUADRASORB-SI (Quantachrome Ins). La morfología y la composición química elemental del adsorbente se examinó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de energía dispersiva (EDX). Las micrografías SEM y los espectros EDX se obtuvieron utilizando un microscopio JEOL JSM-6510LV EDS operando en modo SEI (imagen secundaria de electrones).

Los sitios ácidos y básicos del material adsorbente se determinaron mediante métodos de retro-valoración basados en el método Boehm [9]. El punto de carga cero (pH_{pzc}) se calculó gráficamente de acuerdo con la metodología propuesta por [10]. Todos los experimentos se llevaron a cabo por triplicado.

Finalmente, se usó la espectroscopía de fotoemisión de rayos X (XPS) para caracterizar la química de la superficie externa del material de carbono previo y posterior a los estudios de adsorción. Para tal fin se utilizó un espectrómetro K-Alpha+ de Thermo Scientific. Los espectros XPS se obtuvieron con una fuente monocromática de rayos X Al K α (1486.71 eV) operando a 150W, 15kV y 10mA y a una presión base de 3×10^{-8} Torr en la cámara analítica. Para los espectros de exploración amplia, se utilizó un rango de energía de 0-1350 eV con una energía de paso de 80 eV y un tamaño de paso de 1 eV. Una vez que se determinaron los picos representativos del material, se obtuvieron espectros en alta resolución con una energía de paso de 40 eV y un tamaño de paso de 0.1 eV. Cada región espectral de interés (C_{1s}, O_{1s} y N_{1s}) se escaneó varias veces para obtener relaciones señal/ruido aceptables. Para obtener el número de componentes, la posición y área del pico, después de corregir la señal de fondo, los espectros resultantes se ajustaron a los gráficos de Lorentz y Gauss (función Voigt). La asignación de picos se realizó siguiendo la literatura más reciente [11,12].

2.3 Estudios de adsorción. Eliminación de color de tequila añejo

Para este estudio se utilizó una muestra de tequila añejo 100% de agave con un contenido alcohólico 55% etanol vol. proporcionada por una empresa de la región centro de Jalisco, México. Su fabricación partió de un tequila blanco, el cual se colocó en barriles (de roble francés previamente utilizados para añejar bourbon Heaven Hill) de 200 L durante 12 meses para lograr su añejamiento. Este proceso se llevó a cabo en el almacén de la empresa (temperatura de 18 ± 5 °C, humedad relativa de $50 \pm 5\%$ y oscuridad). El muestreo del tequila añejo se realizó según lo indicado por la NOM-006-SCFI-2012 [4], obteniendo un volumen no menor a 3 L de por lo menos dos barricas diferentes para garantizar una muestra representativa.

Los estudios de adsorción para evaluar la eliminación de color se realizaron en un sistema conformado por un reactor de lecho fluidizado que consiste en una columna de vidrio de 10 cm de altura y 4 cm de

diámetro interno, la cual cuenta con deflectores de 1.0 x 0.5 cm con un espaciado de 0.8 cm a lo largo de toda la columna. En la parte inferior se colocó una malla con una apertura de 850 μm y un difusor conectado a una bomba de aire marca Elite modelo 802. El tiempo de contacto se estableció en 1 hora y el flujo de aire se fijó en 3.5 psi correspondiente al punto en el cual el lecho fluido se encontraba en buen estado. Para obtener las condiciones óptimas de operación del proceso de adsorción (granulometría y dosificación) se evaluó un diseño de experimentos tipo Taguchi L_9 (3^2) (Tabla 1) [13].

Para determinar la máxima capacidad de remoción de color en el tequila añejo, se realizaron estudios de espectroscopía Ultravioleta-Visible (UV-VIS), debido a que estudios previos han evidenciado que los cambios que sufre el tequila durante su proceso de maduración en barrica son debidos al incremento en la intensidad de la banda de absorción que se encuentre en el rango de 352 a 385 nm (centrada en 365 nm), la cual corresponde a la banda I de flavonoides en el anillo B y repercute en parámetros característicos del tequila añejo tales como intensidad de color, tonalidad y porcentaje de color amarillo [14]. Así también, se ha demostrado que la banda de absorción que se encuentra de 243 a 320 nm (centrada en 280 nm), corresponde al núcleo bencénico característico de los compuestos polifenólicos que le otorgan las propiedades organolépticas esenciales a la bebida [15], [16]. Debido a lo anterior, las variables de respuesta estudiadas en el diseño de experimentos fueron: la maximización de la remoción de la banda a 365 nm (Ecuación 1) y la minimización de la remoción de la banda a 280 nm (Ecuación 2) de los espectros UV-VIS.

$$\text{Remoción de banda 280nm (\%)} = \left[\frac{\left(\int_{243 \text{ nm}}^{320 \text{ nm}} \text{UV-VIS}_{\text{inicial}} \right) - \left(\int_{243 \text{ nm}}^{320 \text{ nm}} \text{UV-VIS}_{\text{final}} \right)}{\left(\int_{243 \text{ nm}}^{320 \text{ nm}} \text{UV-VIS}_{\text{inicial}} \right)} \right] * 100 \quad (1)$$

$$\text{Remoción de banda 365 nm (\%)} = \left[\frac{\left(\int_{352 \text{ nm}}^{385 \text{ nm}} \text{UV-VIS}_{\text{inicial}} \right) - \left(\int_{352 \text{ nm}}^{385 \text{ nm}} \text{UV-VIS}_{\text{final}} \right)}{\left(\int_{352 \text{ nm}}^{385 \text{ nm}} \text{UV-VIS}_{\text{inicial}} \right)} \right] * 100 \quad (2)$$

Los estudios de espectroscopía UV-VIS fueron obtenidos empleando un espectrofotómetro UV-1800 SHIMADZU. Las lecturas se realizaron en la región de 200 a 800 nm con un tamaño de paso de 0.5 nm, utilizando una solución 55% v/v (etanol: agua) como blanco para todas las muestras analizadas.

Tabla 1. Diseño de experimental tipo Taguchi L_9 para evaluar la remoción de las bandas de absorción a 280 nm (compuestos aromáticos) y 365 nm (color)

Diseño codificado			Diseño sin codificar		Variable respuesta	
Exp.	Granulometría	Dosificación	Granulometría	Dosificación	Remoción (%) banda 280 nm	Remoción (%) banda 365 nm
1	-1	-1	850 μm – 1.18 mm	0.02 g mL ⁻¹	74.7 $\pm$ 3.2	68.7 $\pm$ 3.2
2	-1	0	850 μm – 1.18 mm	0.04 g mL ⁻¹	38.9 $\pm$ 10.4	55.9 $\pm$ 8.4
3	-1	1	850 μm – 1.18 mm	0.08 g mL ⁻¹	33.5 $\pm$ 5.8	51.5 $\pm$ 0.8
4	0	-1	1.18 mm – 2.00 mm	0.02 g mL ⁻¹	48.5 $\pm$ 6.1	63.9 $\pm$ 7.6
5	0	0	1.18 mm – 2.00 mm	0.04 g mL ⁻¹	20.4 $\pm$ 4.5	35.5 $\pm$ 3.1
6	0	1	1.18 mm – 2.00 mm	0.08 g mL ⁻¹	12.2 $\pm$ 3.4	33.3 $\pm$ 7.9
7	1	-1	2.00 mm – 2.80 mm	0.02 g mL ⁻¹	43.0 $\pm$ 0.3	56.3 $\pm$ 4.7
8	1	0	2.00 mm – 2.80 mm	0.04 g mL ⁻¹	39.9 $\pm$ 1.4	62.1 $\pm$ 1.2
9	1	1	2.00 mm – 2.80 mm	0.08 g mL ⁻¹	27.2 $\pm$ 3.9	43.5 $\pm$ 5.7

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización del material adsorbente

El análisis elemental del material se realizó por espectroscopía de energía dispersiva, los datos obtenidos se muestran en la Tabla 2. Se observa que los elementos predominantes son carbono (71.4 wt%), oxígeno (21 wt%) y nitrógeno (6 wt%) atribuible a que el proceso de pirolisis ha sido realizado a baja temperatura, esto con la intención de conservar grupos oxigenados y nitrogenados en el material que permitan llevar a cabo el proceso de remoción de color del tequila añejo. El resto de los elementos presentes se encuentran a nivel de traza y se encuentran presentes debido a la naturaleza del material precursor.

Con la finalidad de caracterizar las propiedades texturales del material de carbono se realizaron estudios de fisisorción de nitrógeno. La recopilación de la información obtenida se presenta en la Tabla 2. El material presenta un área superficial (S_{BET}) baja, lo cual es típico de materiales sintetizados a partir de residuos celulósicos a temperaturas de pirolisis bajas [17]. Se puede concluir que el material es esencialmente macroporoso. Lo cual puede visualizarse con detenimiento en las imágenes SEM presentadas en la Figura 1, las cuales muestran como característica principal, capas laminares bien estructuradas sin una dirección definida, pudiéndose identificar con claridad la formación de canales con un diámetro promedio de 5 μm .

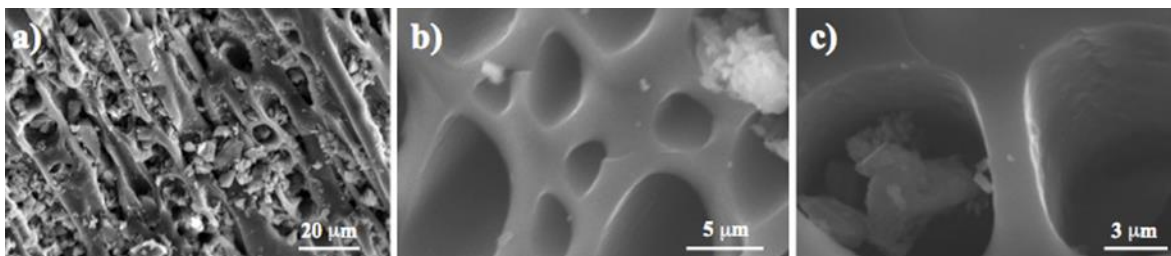


Figura 1. Imágenes SEM de la muestra CM a distintas magnificaciones: a) 1000X, b) 5000 X, c) 10000 X

Finalmente, la caracterización de la química superficial muestra una distribución de sitios ácidos y básicos, debido a los grupos oxigenados y nitrogenados en el material, estos últimos le confieren el carácter básico al material (pH_{pzc} 7.78) de tal forma que puede considerarse selectivo para adsorber moléculas que se comporten como ácido de Lewis.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del material adsorbente CM

Caracterización fisicoquímica		
Análisis elemental (EDX)	C (wt%)	71.40
	O (wt%)	21.00
	N (wt%)	6.00
	K (wt%)	0.94
	Si (wt%)	0.41
	Al (wt%)	0.11
	Na (wt%)	0.08
	S (wt%)	0.05
Propiedades texturales	S_{BET} ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)	11.0
	$V_{0.95}$ ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	0.02

Química superficial	Sitios ácidos (mmol g ⁻¹)	3.31
	Sitios básicos (mmol g ⁻¹)	2.58
	pH _{pzc}	7.78

Los resultados de remoción de color posterior a los estudios de adsorción se presentan en la Tabla 1. El experimento 4 fue el que otorgó mejores resultados, con una remoción de color máxima de $63.9\% \pm 7.6\%$ y un $48.5\% \pm 6.1\%$ de remoción de compuestos aromáticos. De tal forma que las condiciones de operación óptimas pueden definirse como una granulometría media (1.18 mm – 2.00 mm) y una dosificación baja (0.02 g mL⁻¹). Con el objetivo de comprender el mecanismo de adsorción por el cual existe la eliminación del color en el tequila añejo se realizaron estudios de espectroscopía XP en el material de carbón previo y posterior a los estudios de adsorción. Los espectros de exploración amplia (0–1350 eV) mostraron que los picos predominantes son los asociados a las regiones C_{1s}, O_{1s} y N_{1s}. Debido lo anterior, se procedió a analizar estas regiones en alta resolución. Para el análisis cuantitativo (Tabla 3) se utilizaron los factores de sensibilidad recomendados por el fabricante: 0.205 para C_{1s}, 0.66 para O_{1s}, y 0.42 para N_{1s}. Los espectros en alta resolución de la región C_{1s} (Figuras 2a y 2d), fueron descompuestos en cinco diferentes especies, de forma similar a lo previamente reportado para materiales de carbono del mismo origen sintetizados con condiciones experimentales similares. El primer pico centrado a 284.8 eV está asociado con enlaces C-C y C-H aromático [11], [12]. El segundo pico (285.4 eV) corresponde a enlaces C=O y/o C-O-C. El tercer pico (286.5 eV) puede ser atribuido a la presencia de enlaces C-OH [10] - [13]. El cuarto pico (287.3 eV), puede relacionarse a estructuras C-N [13] - [15]. Finalmente, el pico a 289.5 eV puede atribuirse a enlaces O-C=O. Es importante destacar que posterior al proceso de adsorción (Muestra CM-Saturado) se observa un incremento de 3.1% en el primer pico, el cual puede ser atribuido a que en la superficie del material existe una mayor participación de enlaces C-C y C-H aromático, debido a las moléculas de polifenoles y flavonoides que han sido adsorbidas debido a un mecanismo que involucra interacciones π - π entre los anillos aromáticos de las placas pseudo-grafíticas del material y los anillo aromáticos de los polifenoles (Figura 3a).

Tabla 3. Energías de enlace (eV) de las regiones C_{1s}, O_{1s} y N_{1s} obtenidos a partir de los análisis matemáticos de los espectros XP

Muestra	C _{1s}	FWHM (eV)	% pico	O _{1s}	% pico	% O	N _{1s}	% pico	% N
CM	284.8	0.98	32.2	531.4	33.2	23.00	398.7	32.30	0.50
	285.4		29.5	532.4	66.7		399.9	67.60	
	286.5		17.7						
	287.3		14.5						
	289.5		5.91						
CM-saturado	284.8	1.05	35.3	531.4	22.1	16.70	398.6	18.80	0.43
	285.4		32.1	532.9	77.8		399.9	52.60	
	286.5		12.2				400.9	28.50	
	287.3		14.9						
	289.5		5.21						

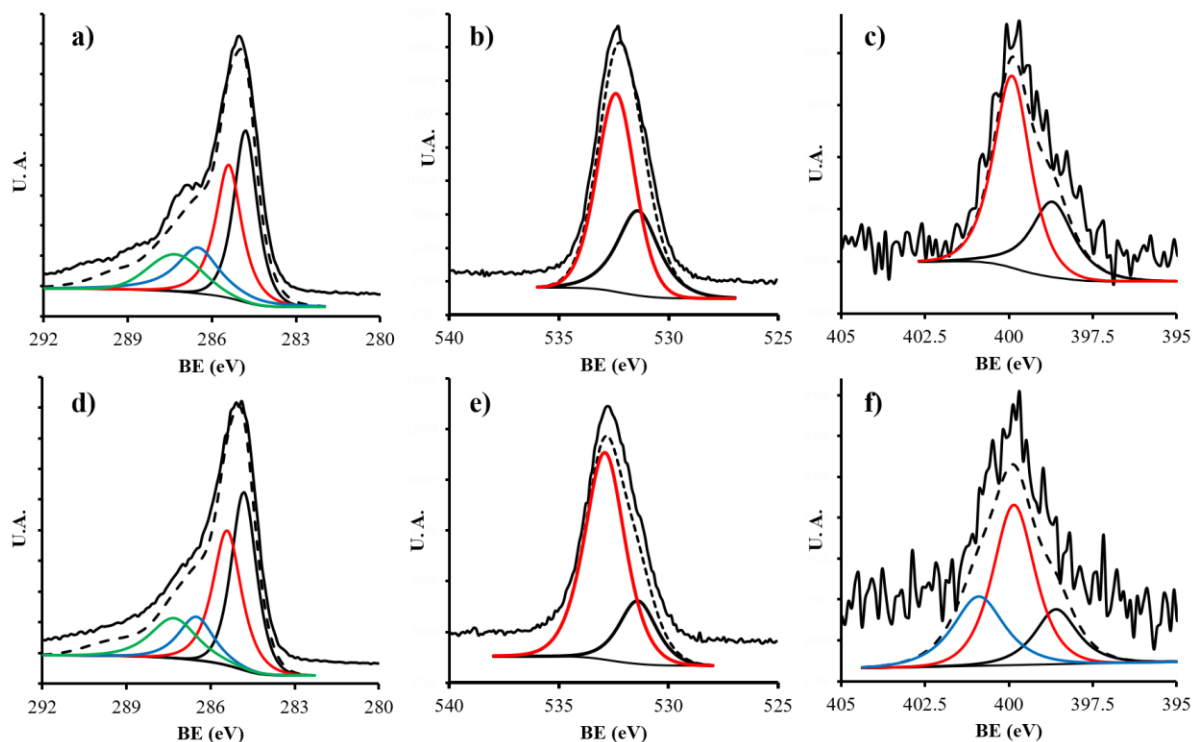


Figura 2. Descomposición de los espectros XP en alta resolución para: a), b) y c) Muestra CM; d), e) y f) Muestra CM-Saturado

Los grupos oxigenados descritos anteriormente se corroboran al realizar la descomposición de los espectros en alta resolución de la región O_{1s} (Figura 2b y 2e), ya que se observan dos picos centrados a 531.4 y 532.9 eV correspondientes a los enlaces de los grupos C=O, C-O y C-OOH [16],[17].

Finalmente, los espectros en alta resolución de la región N_{1s} se muestran en las Figuras 2c y 2d. Previo al proceso de adsorción, se observan 2 picos centrados a 398.7 y 399.9 eV, correspondientes a grupos O=C-N y C-N, respectivamente [11],[18]. Posterior a la adsorción se aprecia la aparición de una nueva señal centrada a 400.9 eV (Figura 2f), debida a la presencia de enlaces -NH [11], [18], esta participación puede asociarse al segundo mecanismo involucrado en el proceso de adsorción de flavonoides, en el cual existe una interacción polar entre el nitrógeno (aceptor), presente en la superficie del material, y los átomos de hidrógeno de los grupos hidroxilo funcionales de los flavonoides (donador), de tal modo que se puede distinguir la formación de enlaces por puente de hidrógeno tal como se muestra en la Figura 3b, de forma similar a lo reportado en [12,22–26].

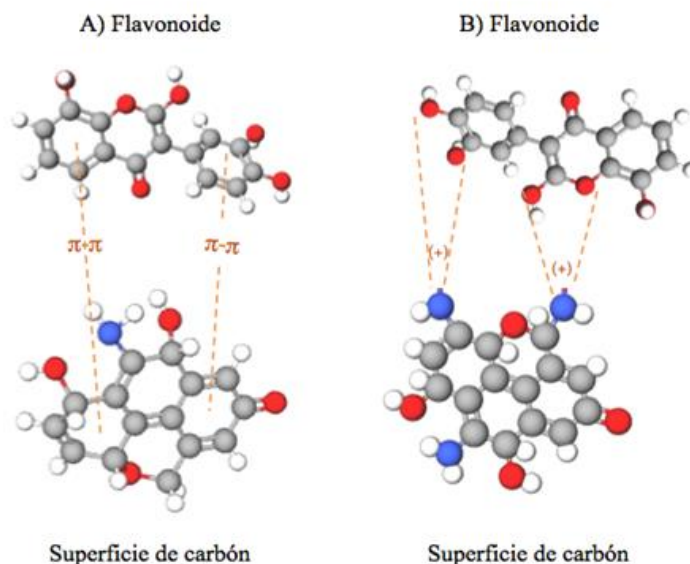


Figura 3. Mecanismo de adsorción para la remoción de color: A) interacciones π - π entre los anillos aromáticos de las placas pseudo-grafíticas del material y los anillo aromáticos de los polifenoles y B) interacción polar entre el nitrógeno, presente en la superficie del material y los átomos de hidrógeno de los grupos hidroxilo funcionales de los flavonoides

Por último, con el objetivo de mostrar que el material sintetizado en el presente estudio puede considerarse selectivo para la eliminación de color presente en el tequila cristalino, se realizaron estudios de adsorción empleando carbones activados actualmente utilizados en la industria tequilera. Para este fin se utilizaron carbones de la casa comercial *CARBOTECNIA*. Todos los estudios se realizaron bajo las mismas condiciones de operación del experimento 4 presentado en la Tabla 1. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4. Al comparar los espectros UV-VIS de la bebida tratada con distintos carbones activados comerciales, se observan diferencias significativas. Para los carbones C_{micro} y C_{mega} se observa la eliminación de más del 90% de las bandas de absorción asociadas a polifenoles y flavonoides, lo cual puede explicarse debido a la gran área superficial que presentan ($C_{micro} = 600 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$; $C_{mega} = 800 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), ya que el proceso de adsorción predominante es la formación de interacciones π - π entre los anillos aromáticos de las moléculas del adsorbato y los planos pseudo-grafíticos del material. En cambio, el material *CM*, presentado en este trabajo de investigación, muestra la eliminación selectiva de la banda de absorción a 365 nm, atribuible al color de la bebida.

La selectividad del material *CM* presentado en esta investigación se debe a la sinergia de dos factores: la textura porosa del material y el contenido de nitrógeno en su superficie. Debido a que en la estructura existen canales superiores a 50 nm la superficie del material es baja y limita el mecanismo de adsorción debido a interacciones π - π , razón por la cual la banda de absorción a 280 nm no se elimina por completo, por otro lado, favorece la difusión y transferencia de masa de moléculas de mayor tamaño (flavonoides) dentro de la textura del material, teniendo como consecuencia un mayor contacto con la superficie nitrogenada, favorecieron la formación de enlaces por puente de hidrógeno entre los sitios C-N y los grupos hidroxilo funcionales de la molécula del adsorbato.

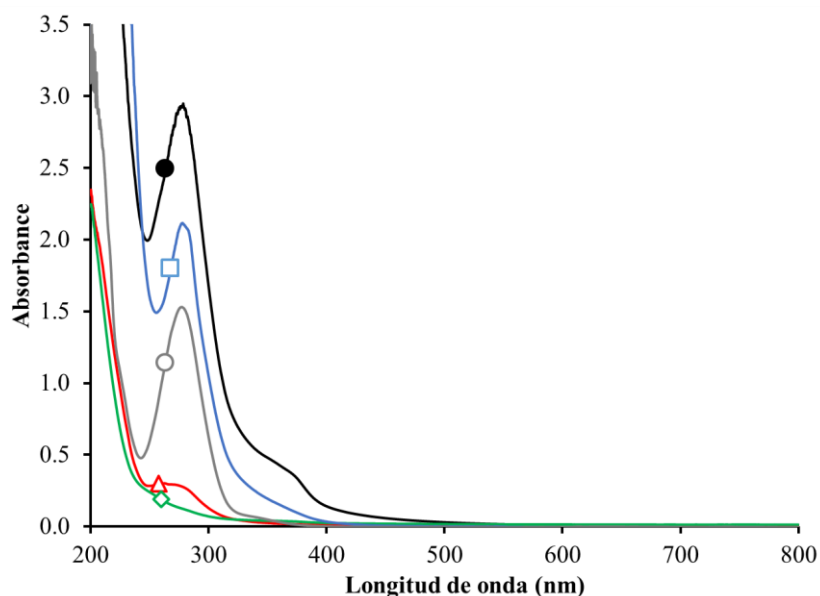


Figura 4. Espectros UV-VIS para ● Tequila añejo, ○ Tequila blanco y Tequila añejo posterior al proceso de adsorción empleando: □ CM, ▲ Carbotecnica mega y ◆ Carbotecnica micro

4. Conclusiones

Es posible obtener un material selectivo a la adsorción del color presente en el tequila añejo empleando como precursor desechos de la planta de mezquite. La selectividad del material se asocia con su textura porosa, así como con la participación de grupos nitrogenados en el mecanismo de adsorción. Debido a esto, el material de carbono aquí presentado muestra un gran potencial para ser utilizado en el proceso de fabricación de tequila cristalino, sin embargo, es importante destacar la necesidad de un estudio de cromatografía de gases y de análisis sensorial para comprobar que el perfil organoléptico de la bebida permanece inalterada posterior al proceso de adsorción (estudios en curso dentro de nuestro grupo de investigación).

Agradecimientos

Pedro Alberto Ríos Hernández (CVU 941072) agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo otorgado para la realización de estudios de posgrado. Walter Manuel Warren Vega agradece a la Universidad Autónoma de Guadalajara por el apoyo otorgado para la realización de estudios de pre-grado.

Referencias bibliográficas

- [1] J. Georgina, N. Vega, (2017). "Procesos productivos, costos y competitividad: caso empresa productora de tequila artesanal", 5 91–101.
- [2] N.Y. Nava-Cruz, M.A. Medina-Morales, J.L. Martinez, R. Rodriguez, C.N. Aguilar, (2015). "Agave biotechnology: An overview", *Crit. Rev. Biotechnol.* 35 546–559. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.923813>.
- [3] A. López-Alvarez, A.L. Díaz-Pérez, C. Sosa-Aguirre, L. Macías-Rodríguez, J. Campos-García, (2012). "Ethanol yield and volatile compound content in fermentation of agave must by *Kluyveromyces marxianus* UMPe-1 comparing with *Saccharomyces cerevisiae* baker's yeast used in tequila production",

J. Biosci. Bioeng. 113 614–618. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2011.12.015>.

[4] SECOFI, (2012). NOM-006-SCFI-2012.

[5] F. Miguel Cruz, (2017). Determinación de las concentraciones del acetaldehído, acetato de etilo y furfural antes y después de la maduración, así como su permanencia en el tequila cristalino, Universidad autónoma de Guadalajara.

[6] Información Sistematizada de Canales y Mercados, Información Sistematizada de Canales y Mercados, (2019). <http://www.iscam.com> (accessed July 17, 2019).

[7] M. Ruiz, C. Hermida, M. De Caridad, M. Torres, S. Martín, H. Humberto, (2014). "ANÁLISIS TÉCNICO DEL ÁRBOL DEL MEZQUITE (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) EN MÉXICO", *Ra Ximhai*. 10 173–193.

[8] J.M.V.-C. and M.A.G.-Z. D. B. Sosa-Hernández, (2016). "Mesquite wood chips (*Prosopis*) as filter media in a bio filter system for municipal wastewater treatment", *Water Sci. Technol.* 1454–1462. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.595>.

[9] H. Boehm, (1994). "Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons", 32 759–769.

[10] J. Faria, P., Orf, (2004). "Adsorption of anionic and cationic dyes on activated carbons with different surface chemistries", 38 2043–2052. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.01.034>.

[11] L.A. Romero-Cano, H. García-Rosero, F. Carrasco-Marín, A.F. Pérez-Cadenas, L. V. González-Gutiérrez, A.I. Zárate-Guzmán, G. Ramos-Sánchez (2019), "Surface functionalization to abate the irreversible capacity of hard carbons derived from grapefruit peels for sodium-ion batteries", *Electrochim. Acta.* 326 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.134973>.

[12] Z. Zhou, P. Zhao, C. Wang, P. Yang, Y. Xie, J. Fei, (2020). "Ultra-sensitive amperometric determination of quercetin by using a glassy carbon electrode modified with a nanocomposite prepared from aminated graphene quantum dots, thiolated β -cyclodextrin and gold nanoparticles", *Microchim. Acta.* 187. <https://doi.org/10.1007/s00604-019-4106-1>.

[13] P. Davis, R. John, (2018). "Application of Taguchi-Based Design of Experiments for Industrial Chemical Processes.", in: *Stat. Approaches With Emphas. Des. Exp. Appl. to Chem. Process. IntechOpen*,: p. 180. <https://doi.org/69501>.

[14] G. Pérez-Caballero, J.M. Andrade, P. Olmos, Y. Molina, I. Jiménez, J.J. Durán, C. Fernandez-Lozano, F. Miguel-Cruz, (2017): "Authentication of tequilas using pattern recognition and supervised classification", *TrAC - Trends Anal. Chem.* 94 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.07.008>.

[15] W. Aleixandre-Tudo, Jose Luis., Toit, (2018). "The Role of UV-Visible Spectroscopy for Phenolic Compounds Quantification in Winemaking".

[16] F. Zamora, (2003). "Elaboración y crianza del vino tinto: Aspectos científicos y prácticos.", *Mundiprensa*.

[17] R.E. Franklin (1951), "Crystallite growth in graphitizing and non-graphitizing carbons", *R. Soc. A Math Phys. Eng. Sci.* 209 196–218.

[18] J. Li, G. Yu, L. Pan, C. Li, F. You, S. Xie, Y. Wang, J. Ma, X. Shang, (2018). "Study of ciprofloxacin removal by biochar obtained from used tea leaves", *J. Environ. Sci. (China)*. 73 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.12.024>.

[19] B. Shen, L. Tian, F. Li, X. Zhang, H. Xu, S. Singh, (2017). "Elemental mercury removal by the modified bio-char from waste tea", *Fuel*. 187 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.09.059>.

- [20] A.P. Dementjev, A. De Graaf, M.C.M. Van de Sanden, K.I. Maslakov, A. V. Naumkin, A.A. Serov, (2000). "X-ray photoelectron spectroscopy reference data for identification of the C₃N₄ phase in carbon-nitrogen films", *Diam. Relat. Mater.* 9 1904–1907. [https://doi.org/10.1016/S0925-9635\(00\)00345-9](https://doi.org/10.1016/S0925-9635(00)00345-9).
- [21] J. Jiang, L. Zhang, X. Wang, N. Holm, K. Rajagopalan, F. Chen, S. Ma, (2013). "Highly ordered macroporous woody biochar with ultra-high carbon content as supercapacitor electrodes", *Electrochim. Acta.* 113 481–489. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.09.121>.
- [22] C. Pevida, M.G. Plaza, B. Arias, J. Fermoso, F. Rubiera, J.J. Pis (2008), "Surface modification of activated carbons for CO₂ capture", *Appl. Surf. Sci.* 254 7165–7172. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.05.239>.
- [23] Y.J. Zhang, Z.J. Xing, Z.K. Duan, M. Li, Y. Wang, (2014). "Effects of steam activation on the pore structure and surface chemistry of activated carbon derived from bamboo waste", *Appl. Surf. Sci.* 315 279–286. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.07.126>.
- [24] K.L. Hong, L. Qie, R. Zeng, Z.Q. Yi, W. Zhang, D. Wang, W. Yin, C. Wu, Q.J. Fan, W.X. Zhang, Y.H. Huang, (2014). "Biomass derived hard carbon used as a high performance anode material for sodium ion batteries", *J. Mater. Chem. A.* 2 12733–12738. <https://doi.org/10.1039/c4ta02068e>.
- [25] Q. Liang, L. Ye, Z.-H. Huang, Q. Xu, Y. Bai, F. Kang, Q.-H. Yang, (2014). "A honeycomb-like porous carbon derived from pomelo peel for use in high-performance supercapacitors", *Nanoscale.* 6 13831–13837. <https://doi.org/10.1039/C4NR04541F>.
- [26] S. Lou, Z. Chen, Y. Liu, H. Ye, D. Di, (2011) "New way to analyze the adsorption behavior of flavonoids on macroporous adsorption resins functionalized with chloromethyl and amino groups", *Langmuir.* 27 9314–9326. <https://doi.org/10.1021/la200858c>.

Obtención de un compuesto con sargazo y plástico recuperado, con aplicación potencial como material de construcción

Ricardo Herbé Cruz Estrada, Carlos Vidal Cupul Manzano, Irene Francisca Hernández Rodríguez

Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. Unidad de Materiales, Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Chuburná de Hidalgo; CP 97205, Mérida, Yucatán, México; Tel : (52) 999 942 83 30. rhcruze@cicy.mx

Resumen

La gran cantidad de sargazo que recalca en las playas está causando múltiples perjuicios en el estado de Quintana Roo, principalmente la disminución de la actividad turística, vital para la economía de la región. Por otro lado, el polietileno de alta densidad (HDPE) es un plástico que se desecha en grandes cantidades, pero es muy bajo su índice de recuperación en esta zona del país. Con el objetivo de aprovechar ambos desechos y contribuir en la disminución del daño ambiental, se elaboró un prototipo de material de construcción. El sargazo se obtuvo de las playas de Puerto Morelos, Quintana Roo y consistió en una mezcla de las especies *Fluitans* y *Natans*. Fue secado al sol y molido con una criba de 1 mm. El HDPE se obtuvo del centro de acopio de residuos sólidos del Parque Científico y Tecnológico de Yucatán. Los desechos se mezclaron (relación en peso HDPE/Sargazo = 60/40), agregándole aditivos compatibilizantes y de ayuda de proceso, para luego procesar la mezcla en fundido mediante extrusión. Se obtuvieron pellets de la mezcla, que fueron moldeados por compresión para obtener laminados, de los cuales se obtuvieron probetas para la caracterización mecánica en flexión. Los resultados indican que el material obtenido tiene una rigidez superior al de la matriz, buena resistencia a la flexión y alta deformación.

Palabras Clave: *Extrusión, material de construcción, plástico recuperado, sargazo.*

180

1. Introducción

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) señala que el *Sargassum* es una macroalga marina parda o verde negruzca, que puede crecer varios metros de largo, es de textura dura y se entrelaza con facilidad, creando fuertes y flexibles islas de sargazo. Aunque no es perjudicial para la salud, su acumulación sí lo es para los ecosistemas y, además, debido a la gran cantidad en la que se acumula en las playas del Caribe mexicano y al mal olor característico que desprende al descomponerse, el sargazo está provocando importantes pérdidas económicas en el sector turístico de esta región; además de suponer una molestia evidente para los pobladores de la zona [1]. Al respecto, se ha reportado que 522 mil toneladas fueron colectadas durante 2018 [2].

Se han implementado varias medidas para poder reducir la cantidad del sargazo que arriba atípicamente a las playas, porque en exceso puede ocasionar problemas como la reducción de luz y oxígeno a la flora y fauna marina, acidificación del mar por producción de ácido sulfhídrico (H_2S) y afectación a la población de tortugas marinas, entre otros. Especialistas coinciden en que puede convertirse en parte de la economía regional si las algas son utilizadas como materia prima en la industria cosmética, como generador de gas metano, carbón vegetal, energía eléctrica, fertilizante para plantas y hasta como alimento para animales, entre otros.

En este estudio se aprovechó el sargazo obtenido en el mes de mayo, del año 2019 de las playas de Puerto Morelos, Quintana Roo, para la elaboración de un material compuesto con una matriz de plástico recuperado. Existen 2 especies principales involucradas en la afluencia de sargazo a las costas del Caribe: *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans*. El utilizado en este estudio es una mezcla de ambas, sin determinar la proporción de cada una de ellas, pues son bastante parecidas.

Por otro lado, se conoce el enorme grado de contaminación que causan los residuos de materiales plásticos al medio ambiente, debido a la pobre gestión que se hace de ellos y a la deficiente educación ambiental de la gran mayoría de la población. De los plásticos más utilizados y de cuyos residuos se recuperan bajas cantidades aún, se encuentra el polietileno de alta densidad (HDPE por sus siglas en inglés). Este material todavía conserva buena calidad cuando son pocos sus ciclos de reciclaje.

Es bastante extensa la bibliografía de documentos que versan sobre materiales elaborados a partir de HDPE (pero no con sargazo), muchos de los cuales poseen excelentes propiedades mecánicas y otras de diversa índole. Por ejemplo, Cruz-Estrada y colaboradores reportan sobre el uso potencial de desechos de madera y HDPE recuperado para obtener un material de construcción [3]. El HDPE empleado en este estudio se obtuvo del centro de acopio de residuos sólidos, establecido en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán (PCTY).

La prueba de flexión en un material es una prueba cuasiestática que determina el módulo elástico, la resistencia a la flexión y la deformación, en una muestra del mismo. A través de esta prueba se conoce el módulo de Young, que indica si el material es rígido o flexible, y proporciona una idea si el material posee o no un desempeño mecánico sobresaliente. Todas estas propiedades dependen de la microestructura que poseen los materiales, lo que proporciona cierta información para su caracterización.

El objetivo principal de este trabajo fue analizar las condiciones de procesamiento de una mezcla Sargazo/HDPE con la finalidad de optimizarlas para obtener en el mediano-largo plazo un material con propiedades óptimas. Se busca que el desempeño mecánico del material permita utilizarlo como elemento constructivo, posiblemente en vivienda.

2. Metodología

2.1 Preparación de mezclas

El sargazo empleado, como se ve en la Figura 1, fue obtenido de las playas de Puerto Morelos, Quintana Roo. Es una mezcla de *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans*, sin determinar la proporción de cada una de ellas. Fue previamente secado al sol y molido con una criba de 2 mm, en un molino Pagani modelo 2030.



Figura 1. Sargazo empleado, tal como fue proporcionado

Debido a que el sargazo todavía contenía cierta cantidad de arena, fue tamizado en un equipo Rotap modelo RX-30 con mallas de números 20 y 30, con el fin de separarla. Luego, se redujo su tamaño aún más con una criba de 1 mm, en un molino Pulvex modelo Mini, para homogenizar su tamaño de partícula con la de la matriz. Después, fue secado en una estufa de convección Felisa modelo FE-291AD a una temperatura de 70°C durante 24 h, y almacenado para su posterior utilización.

El HDPE empleado se obtuvo del centro de acopio de residuos sólidos, establecido en el Parque Científico

y Tecnológico de Yucatán (PCTY). Se colectaron principalmente envases de yogurt, botes de limpiadores y tapas diversas. Los residuos de este material, fueron lavados y secados al sol. Al HDPE recuperado, ya limpio, se le eliminaron los materiales extraños (tapones, etiquetas, papeles, etc.), se cortó en piezas pequeñas, como se observa en la Figura 2, y se realizó una molienda previa con una criba de 4 mm en un molino Pagani modelo 1520. Luego, se empleó un pulverizador Brabender para disminuir el tamaño de partícula a 1 mm (Figura 2).



Figura 2. A) Plásticos recuperados del centro de acopio. B) Plástico molido con la criba de 1 mm

Además de los materiales anteriormente citados, para realizar las mezclas se emplearon dos aditivos. Uno fue un agente de acoplamiento Polybond 3009 del proveedor Brenntag México S.A. de C.V., en forma de pellets. Este es un polietileno funcionalizado con anhídrido maleico [4], que se molió en el pulverizador Brabender con la criba de 1 mm. El otro aditivo, Struktol TPW-104, funciona como ayuda de proceso, ya que es un lubricante funcional indicado para proveer una alta humectación y excelentes características de dispersión a las cargas empleadas [3].

La proporción de las mezclas fue la siguiente: 40% en peso de sargazo molido, 60% en peso de HDPE molido, 5% en peso de agente de acoplamiento con respecto al peso del sargazo y 3% en peso de ayuda de proceso con respecto al peso del sargazo. La mezcla de los componentes se realizó en una mezcladora de cintas Intertécnica modelo ML-5, siguiendo una secuencia específica de agregado de los componentes. La mezcla obtenida fue secada a 80°C durante 24 h en una estufa de convección Felisa modelo FE-291AD.

2.2. Procesamiento

Las mezclas se procesaron en fundido en un extrusor doble husillo modular CW Brabender modelo TSE 20/40. El perfil de temperaturas empleado fue de 155°C en la zona de alimentación, 165°C en el primer elemento de transporte, 175°C en el bloque de amasado, 185°C en el segundo elemento de transporte y 175°C en el anillo de salida del extrusor. El cabezal de salida tenía una boquilla para la formación de cordones de 3 mm de diámetro y una temperatura de 165°C. Como fuerza motriz se empleó un Intellitorque Plasti-corder CW Brabender, en el cual se fijó una velocidad de rotación de los husillos de 20 rpm. La línea de extrusión se completó con una banda transportadora CW Brabender con cortina de aire y un pelletizador CW Brabender modelo BT20, en el cual se fijó una velocidad de jalado de 30 rpm. Con este último equipo se obtuvieron pellets de material compuesto Sargazo/HDPE.

Los pellets obtenidos se emplearon para la obtención de laminados por moldeo a compresión, empleando un molde macho-hembra de 25 cm x 35 cm, con un marco de 2.5 cm de profundidad. El molde fue rociado con un lubricante de silicón en aerosol Lubrisil y después de haberse secado se agregaron 350 g de pellets de material compuesto. El molde armado se introdujo a una prensa hidráulica de fabricación casera.

Con el objetivo de comparar el efecto del modo de enfriamiento de los laminados, se elaboraron 2 de ellos con condiciones ligeramente diferentes:

CONDICIONES 1: Se calentó el molde hasta 170°C, y se aplicó presión lentamente durante 20 min hasta que el manómetro marcó 1500 psi. Entonces, se apagaron los calefactores y se mantuvo la presión hasta el final del enfriamiento, que se realizó con la temperatura ambiental. El laminado desmoldado tuvo un espesor promedio de 2.50 mm. Ver Figura 3A.

CONDICIONES 2: Se calentó el molde hasta 160°C, y se aplicó presión lentamente durante 20 min hasta que el manómetro marcó 1000 psi. Entonces, se apagaron los calefactores y se mantuvo la presión hasta el final del enfriamiento, que se realizó utilizando el sistema interno de enfriamiento de los platos de la prensa, con agua a temperatura ambiental. El laminado desmoldado tuvo un espesor promedio de 3.00 mm. Ver Figura 3B.

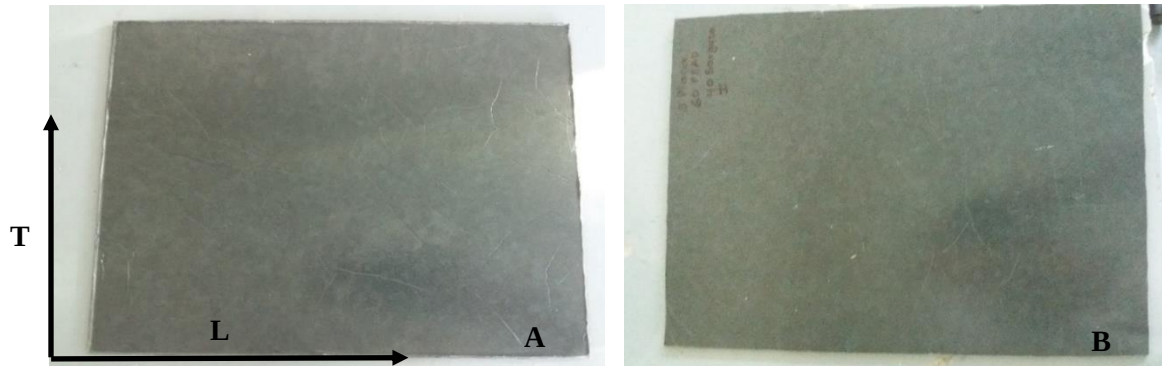


Figura 3. A) Laminado obtenido con las condiciones 1. B) Laminado obtenido con las condiciones 2

2.3. Elaboración de probetas para ensayos mecánicos

Las probetas para la prueba mecánica de flexión se elaboraron de acuerdo con las dimensiones propuestas por la American Standard Test Materials, en su norma ASTM D 790-03 [5]. Las dimensiones adecuadas de las probetas se marcaron sobre los laminados, 10 en dirección transversal (marcada con una letra T en la Figura 3A) y 10 en dirección longitudinal (marcada con una letra L en la Figura 3A), para estudiar si influye la orientación en las propiedades evaluadas, y se cortaron en una sierra cinta MJ344N. Para la rectificación de las dimensiones se empleó una pulidora Struers Labopol-5, como se puede ver en la Figura 4.

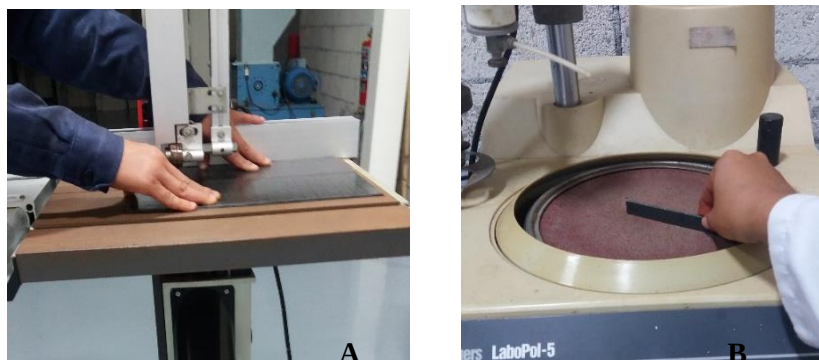


Figura 4. A) Corte de las probetas en la sierra cinta. B) Rectificación de las dimensiones

A cada probeta obtenida se le midió el ancho y el espesor en 5 secciones diferentes y se obtuvo el promedio de ellas. Las probetas se acondicionaron para la prueba de flexión, siguiendo la norma estándar ASTM D 618-00 [6]. Las pruebas mecánicas de flexión se llevaron a cabo en una máquina de pruebas universales Shimadzu modelo AGS-X, con una celda de carga de 1000 N. Para cada probeta se calculó la

separación de los soportes, la velocidad del cabezal y la deflexión límite en la que se detiene la prueba en caso de no ruptura de la probeta. Se empleó la norma ASTM D 790-03 [5] como referencia.

3. Resultados y discusión

Los resultados de las pruebas mecánicas de flexión fueron los siguientes: la mayoría de las probetas ensayadas presentó un comportamiento dúctil, ya que antes de producirse la ruptura tuvieron una deformación significativa.

La Figura 5 presenta el módulo elástico, la resistencia máxima a la flexión y la deformación máxima de las probetas longitudinales, provenientes del laminado enfriado mediante la temperatura ambiente (condiciones 1).

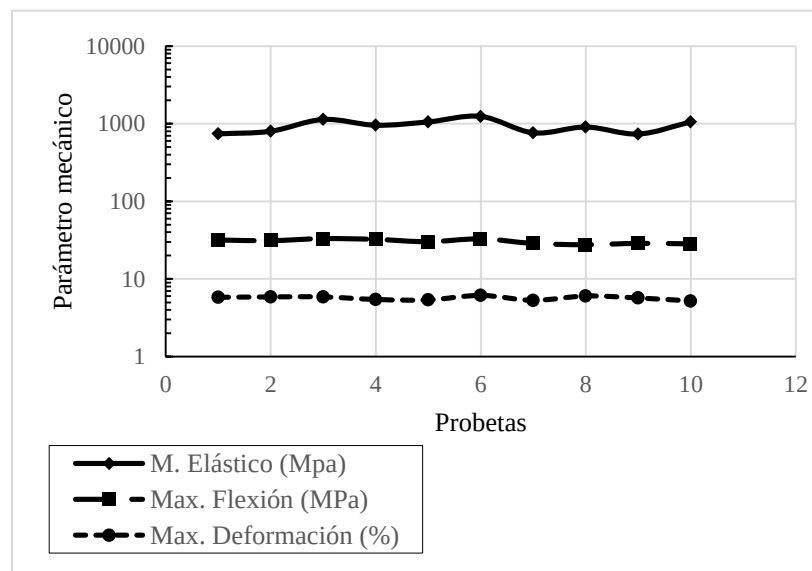


Figura 5. Propiedades mecánicas de flexión de las probetas longitudinales (condiciones 1)

Se puede observar en la Figura 5, la comparación del orden de magnitud de los parámetros mecánicos medidos. Se nota además que, con excepción del módulo elástico, la flexión y deformación máximas prácticamente no varían, lo que indica un comportamiento bastante homogéneo en estas propiedades.

El módulo elástico obtenido (alrededor de 1000 MPa) es mucho menor que el encontrado por Michaud y Hugot [7] (alrededor de 2700 MPa), quienes trabajaron con un material compuesto comercial de HDPE virgen y madera tipo aserrín, con una proporción de 60% de madera, 30% de HDPE y 10% de aditivos, empleando un proceso similar. Esta comparación se realiza ante la falta de información sobre materiales compuestos con sargazo. La diferencia entre los valores de ambos estudios se relaciona con el tipo de relleno empleado y la proporción en las mezclas. También se debe observar que el HDPE utilizado en este estudio es recuperado.

Con respecto a la flexión máxima (alrededor de 30 MPa) es superior a la obtenida por Michaud y Hugot [7] (alrededor de 16 MPa) debido a que en este trabajo se empleó una mayor proporción de la matriz plástica. Sin embargo, la flexión máxima del material obtenido en este trabajo es comparable con la reportada por Klyosov [8] (alrededor de 26 MPa) para materiales compuestos con madera que emplean agentes de acoplamiento.

La deformación máxima es más alta que la reportada por Michaud y Hugot [7] (entre 1.25% y 1.75%), es decir, el material objeto de este trabajo se deforma mucho antes de empezar a ceder, lo cual se debe a la mayor cantidad de HDPE presente.

La Figura 6 muestra las propiedades anteriormente citadas, para las probetas obtenidas del laminado con condiciones 1, pero que fueron cortadas en dirección transversal.

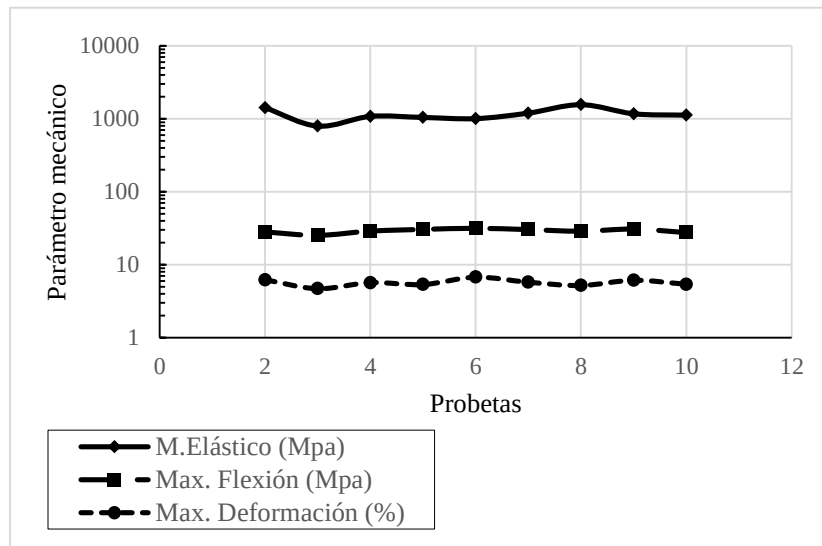


Figura 6. Propiedades mecánicas de flexión de las probetas transversales (condiciones 1)

Comparando los valores de las Figuras 5 y 6 no se nota, a simple vista, una diferencia marcada en las propiedades, entre las probetas transversales y longitudinales, muy probablemente debido a la escala logarítmica del gráfico, que permite reunir todas las propiedades medidas.

La Figura 7 muestra las propiedades mecánicas de las probetas cortadas en dirección longitudinal, del laminado obtenido con las condiciones 2. Nótese que en este caso el enfriamiento fue más rápido.

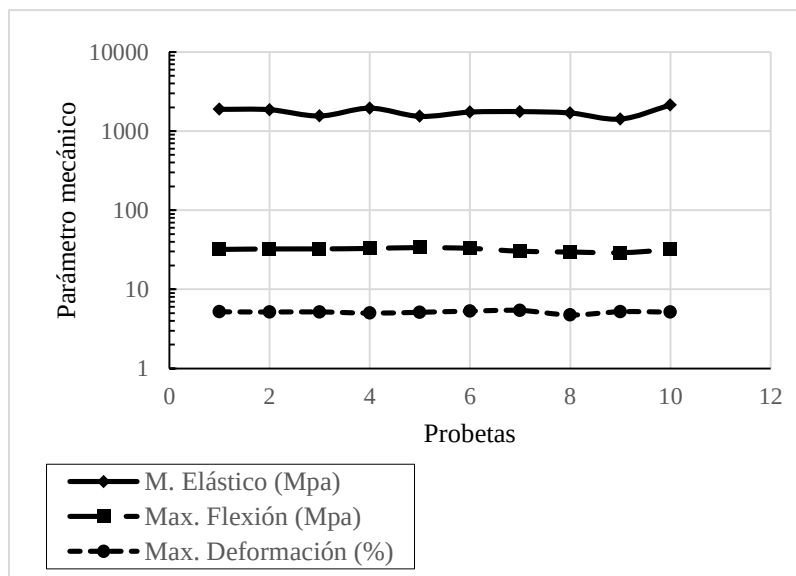


Figura 7. Propiedades mecánicas de flexión de las probetas longitudinales (condiciones 2)

Se observa en la Figura 7 que los valores del módulo elástico son mayores que en los gráficos de las Figuras 5 y 6, por lo que posiblemente el enfriamiento de los laminados con agua, durante la compresión, beneficia a este valor. La rigidez de un mayor volumen de fase amorfa en el HDPE o el menor daño a las cadenas poliméricas debido a la menor temperatura y presión durante el laminado, probablemente contribuyeron para mejorar el módulo de las probetas del laminado obtenido con las condiciones 2. Sin embargo, todavía son valores por debajo de los reportados por Michaud y Hugot [7] para los materiales compuestos con madera, pero son más elevados que los del HDPE reportados por ellos mismos (1250 Mpa) y por Klyosov [8] (entre 860Mpa y 1650Mpa). Se deduce, entonces, que el sargazo puede contribuir al incremento del módulo del material compuesto, ya que la matriz plástica que se empleó es recuperada y su módulo debe ser menor.

La Figura 8 muestra las propiedades mecánicas de las probetas obtenidas del laminado con las condiciones 2, cortadas en dirección transversal.

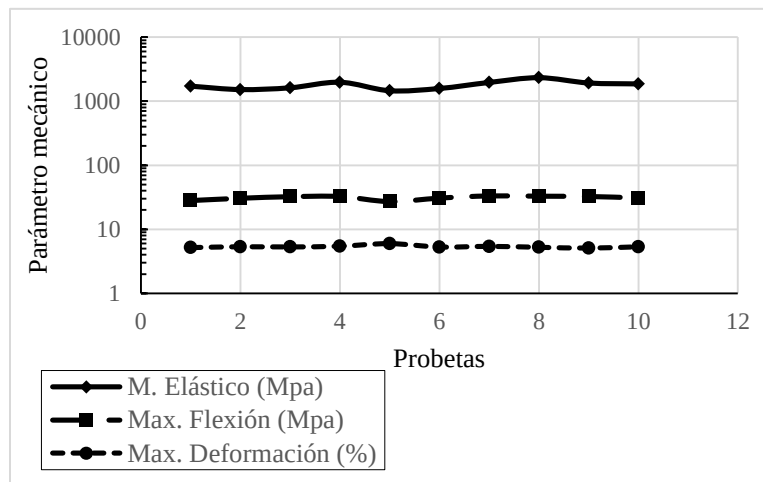


Figura 8. Propiedades mecánicas de flexión de las probetas transversales (condiciones 2)

En la Figura 8 se observa que los valores del módulo elástico son mayores que en las probetas obtenidas del laminado con las condiciones 1, pero no se nota una gran diferencia con respecto al valor de las probetas longitudinales obtenidas del laminado con las condiciones 2, indicando que no existe orientación preferente en el flujo de los materiales, durante el procesamiento del laminado a compresión.

Para observar mejor las diferencias entre las propiedades de las probetas, se comparan los valores promedio, junto con las desviaciones estándar (Desv. est.) correspondientes. Estos se encuentran ordenados en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de los valores promedio y desviación estándar, de las propiedades mecánicas de flexión

Parámetro	Módulo elástico (MPa)		Flexión máxima (MPa)		Deformación máxima (%)	
	Promedio	Desv. est.	Promedio	Desv. est.	Promedio	Desv. est.
Longitudinal (laminado en condiciones 1)	938.28	179.362	30.4876	2.03788	5.67857	0.32399
Transversal (laminado en condiciones 1)	1155.89	226.410	29.1130	1.94726	5.68813	0.61577
Longitudinal (laminado en condiciones 2)	1754.12	215.460	31.6862	1.54789	5.15169	0.17910
Transversal (laminado en condiciones 2)	1796.72	267.033	31.0613	2.06937	5.35849	0.23915

En la Tabla 1 se puede observar que la desviación estándar del módulo elástico de todas las probetas es algo elevado, alrededor del 20%, lo que posiblemente indique una homogeneidad un poco reducida en la distribución de los componentes.

Por otra parte, no existe una diferencia significativa entre los promedios de los módulos de las probetas, obtenidas del laminado con condiciones 2, pero si entre los valores de las obtenidas del laminado con condiciones 1. Es decir, las probetas transversales tienen un módulo más elevado que las probetas longitudinales en aproximadamente 20%, cuando debieron ser similares debido a que no debe existir una orientación preferente, en el moldeado a compresión de pellets de materiales compuestos. La ley de probabilidades pudo haber orientado las fibras en dirección transversal, ya que el laminado se realizó a mayor temperatura y el material tuvo mayor flujo, y quizá los platos de la prensa no estaban completamente paralelos durante el procesamiento.

Las probetas del laminado obtenidas con las condiciones 2 poseen un módulo superior al de las probetas del laminado obtenidas con las condiciones 1, en alrededor del 50%. Aunque una velocidad de enfriamiento menor favorece el crecimiento de los cristales [9], una mayor presión las desfavorece (elevando la temperatura de fusión o degradando las cadenas poliméricas con mayores esfuerzos de corte) [10], como en el laminado con condiciones 1, cuya presión es 33% más elevada. Probablemente esta sea una de las razones por las que las probetas del laminado obtenidas con las condiciones 2 tengan un mayor módulo que las del laminado obtenidas con las condiciones 1, a pesar de que la velocidad de enfriamiento es más rápida en las condiciones 2.

La flexión y la deformación máximas de las probetas no fue afectada en demasía por las condiciones de compresión de los laminados, pues todas tuvieron valores similares.

4. Conclusiones

Se propuso una alternativa para el empleo del sargazo y del HDPE recuperado, con el fin de evitar su acumulación y perjuicio al ambiente y para aprovecharlos en la obtención de un material con desempeño mecánico óptimo con potencial aplicación como material de construcción en vivienda.

Se logró encontrar un perfil de temperaturas y una velocidad de los husillos adecuados para el procesamiento en fundido de los componentes de la mezcla. También se hallaron las condiciones adecuadas (temperatura, presión, tiempo) para la obtención de laminados mediante el moldeo por compresión.

Las probetas ensayadas presentaron un comportamiento dúctil y en general, las propiedades medidas fueron bastante homogéneas. El porcentaje de deformación máxima es relativamente alto en todas las probetas ensayadas, lo que indica que el material no cede tan rápido al incrementarse la fuerza.

La desviación estándar de los valores del módulo elástico es algo elevado, indicando posiblemente una menor homogeneidad en la distribución de los componentes de la mezcla. Además, existe una apreciable diferencia entre los valores del módulo de las probetas, del laminado obtenido con las condiciones 1, siendo las transversales las que poseen mayor valor, probablemente por una cierta desviación del paralelismo de los platos de la prensa. Con respecto a las probetas del laminado 2, no existe una diferencia apreciable entre los valores del módulo de las transversales y las longitudinales, pero si son bastante más elevados que los de las probetas del laminado con las condiciones 1. Esto quizá se deba a la mayor presión empleada, por lo que el método de enfriamiento más rápido resultó más adecuado para mejorar el módulo elástico de las probetas. De cualquier manera, se recomienda obtener otra vez los laminados para corroborar los resultados.

No existen diferencias significativas entre los valores de la flexión máxima y porcentaje de deformación máxima de las probetas, independientemente de la orientación y las condiciones del moldeo por

compresión, pues los parámetros empleados no variaron lo suficiente para afectarlos.

Se recomienda variar las condiciones de procesamiento y de moldeo por compresión, para obtener un laminado más denso y de esta manera mejorar las propiedades mecánicas. También sería conveniente variar las proporciones de los componentes con el mismo propósito.

Se recomienda elaborar laminados con sólo HDPE recuperado, para la obtención de probetas que puedan ensayarse mecánicamente y lograr la comparación con los materiales compuestos desarrollados.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó con recursos del proyecto iniciativa UMT-2016-0009, “Análisis de la degradación biótica y abiótica de materiales compuestos con residuos lignocelulósicos y termoplásticos de recicló”. Se agradece a la Dra. Beatriz Escobar Morales de la Unidad de Energía Renovable, del Centro de Investigación Científica de Yucatán, por haber proporcionado el sargazo que se empleó en este estudio.

Referencias Bibliográficas

- [1] Belén, V. (2018) ¿Qué es el sargazo y por qué está invadiendo las playas del Caribe mexicano? En línea < <https://noticieros.televisa.com/historia/que-es-sargazo-que-invadio-playas-quintana-roo/>> Recuperado el 06/07/2020.
- [2] Velasco, A., Lozano, L. (2019) El sargazo se ha convertido en el enemigo 'de las mil cabezas' del paraíso en México. EL FINANCIERO. En línea <<https://www.elfinanciero.com.mx/bloomberg-businessweek/el-sargazo-se-ha-convertido-en-el-enemigo-de-las-mil-cabezas-del-paraiso-en-mexico>> Recuperado el 06/07/2020.
- [3] Cruz-Estrada, R.H., Guillén-Mallette, J., Cupul-Manzano, C.V., Balam-Hernández, J.I. (2020) Potential use of waste from tree pruning and recovered plastic to obtain a building material: Case study of Merida, Mexico. *Waste Management & Research*, Online First Published, 1-9. Doi: 10.1177/0734242X20928404.
- [4] Chemtura Corporation (2008). *Polybond 3009 Polymer Modifier*. Technical Information.
- [5] ASTM International (2003). *Designation D 790-03 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. United States.
- [6] ASTM International (2000). *Designation D 618-00 Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing*. United States.
- [7] Michaud Franck, Hugot Françoise (2007), “Mechanical Behaviour of Wood Plastic Composite Product for Decking Application”. *Conference paper ICRACM 2007. India*.
- [8] Klyosov Anatole A. (2007) *Plastic-wood Composite*. John Wiley and Sons, Inc. Hoboken , New Jersey, USA.
- [9] ASM International Handbooks (2003) Effects of Composition, Processing and Structure on Properties of Engineering Plastics. Lampman Steve, *Characterization and Failure Analysis of Plastics*. ASM International Handbooks. USA. pp 28-48.
- [10] Cucarella M. C. M., (1982) “Effects of high pressure on polymers. II)Crystallization”. *LatinAmerican Journal of Metallurgy and Materials*. Vol. 2, No. 1, pp 46-62.

Proyecciones de valorización de residuos sólidos inorgánicos en cuatro municipios del estado de México

¹Yolanda Sánchez Zarco, ¹María del Consuelo Hernández Berriel^{a*}, ²Antonio Gallardo Izquierdo, ³Amaya Lobo-García de Cortázar, ¹Isaías de la Rosa-Gómez, ¹María del Carmen Carreño de León

¹Tratamiento de contaminantes y gestión ambiental, Posgrado en Ciencias Ambientales, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n. Colonia Agrícola Bellavista Metepec, Edo. De México, México, C.P. 52149, Tel. (729) 1384104. *mhernandezb@toluca.tecnm.mx

²Departament d'Enginyeria Mecànica i Construcció, Universitat Jaume I. Av. Vicent Sos Baynat, s/n 12071 Castelló de la Plana, Espanya.

³ Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y Medio Ambiente, Grupo de Ingeniería Ambiental. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Cantabria, Avda. de los Castros s/n. 39005 Santander, España.

Resumen

Los municipios del Estado de México han empezado a plantear sus Programas de Desarrollo Municipal bajo el enfoque de la Agenda 2030, abarcando la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos; en muchos de ellos se carece de información, por lo que el objetivo de este trabajo fue conocer la situación actual de los residuos valorizables inorgánicos en cuatro municipios y proyectar los beneficios potenciales de su comercialización. Los municipios se seleccionaron considerando las Regiones Ambientales y el software “Mapa Digital” del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Se colectó información documental del manejo y composición de los residuos, así como de campo, aplicando una Cédula de Entrevista a las autoridades responsables de su manejo y cotizando precios de Residuos Valorizables Inorgánicos en la región. Se plantearon dos escenarios de recuperación de residuos valorizables, estimándose los beneficios económicos. Los municipios elegidos fueron Tianguistenco y Xalatlaco al norte y Tenancingo y Zumpahuacán al sur de la Región Ambiental “Río Lerma Subcuenca la Laguna”. En el Escenario Base Tenancingo, Zumpahuacán y Tianguistenco reportaron ingresos de 2445.60, 11240.00 y 8908.00 \$ MNX/mes de residuos valorizables respectivamente, mientras que para el Escenario Proyectado sus ingresos rebasarían los cientos de miles de pesos mensuales. El trabajo intermunicipal de los municipios incrementaría la recuperación y venta de residuos valorizables al mejor precio, con lo que además de aumentar sus ingresos, se evitaría que al menos la tercera parte de sus residuos se dispusieran, con lo que se contribuiría significativamente a lo requerido por la Agenda 2030.

Palabras Clave: *Beneficios económicos, Escenarios de recuperación, Ingresos, Residuos valorizables inorgánicos.*

1. Introducción

A medida que las sociedades van incrementando su poder adquisitivo, creen que progresan y compran más productos, produciendo a su vez una mayor cantidad de RSU [1]. En el 2016 el promedio mundial de RSU se estimó en 0.74 kg/hab-d y la generación total fue de 2,010 millones de toneladas; se espera que para el 2050 este número crezca a 3,400 millones de toneladas [2]. En México, la generación estimada de RSU fue de 44.65 millones de toneladas en 2017, con una generación promedio de 1.0 kg/hab-d [3], siendo el Estado de México la entidad federativa de mayor generación (6.7 millones de toneladas en 2012) de las cuales el 68 % se dispusieron en Rellenos Sanitarios (RESA), 29 % en sitios controlados y 3% en sitios no controlados [4].

Los RSU son un problema que afecta a cada habitante del planeta; su manejo inadecuado obstruye los drenajes y causa inundaciones, contamina los océanos y perjudica a los animales que consumen desperdicios, contribuye a la transmisión de enfermedades, su quemado aumenta las afecciones

respiratorias; todo ello ha ido afectando el desarrollo económico. Aunque es un tema del cual se tiene conocimiento, la generación de RSU continúa en aumento y en los países en desarrollo más del 90% de los residuos se vierten o queman a cielo abierto, afectando a las poblaciones más vulnerables, sin establecer sistemas adecuados para el Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos (MIRSU) [5]. En el 2015 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció la Agenda 2030, con 17 Objetivos para el Desarrollo Sostenible; siendo los objetivos 11 y 12 los que se enfocan a las ciudades, consumo y producción sostenibles [6], con el fin de reducir la generación de residuos a través de la prevención, reducción, reciclaje y reutilización [7].

Al suscribirse en la Agenda 2030, México ratificó su responsabilidad global y su compromiso con la humanidad de promover los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS); por lo que se han elaborado herramientas como la Guía para Incorporar el Enfoque de la Agenda 2030, que se utilizan para la Elaboración de Planes Estatales y Municipales de Desarrollo [8]. El Estado de México y sus municipios han empezado a plantear sus Programas de Desarrollo Municipal (PDM) bajo este esquema, abarcando la Gestión y Manejo de los RSU. Sin embargo, en muchos de ellos se carece de información, por lo que el objetivo de este trabajo fue conocer la situación actual de los RSU y proyectar los beneficios de los residuos valorizables inorgánicos (RVI) en cuatro municipios al sur del Estado de México, considerando el enfoque de la sustentabilidad.

2. Metodología

2.1 Selección de los municipios a estudiar

Se identificaron los municipios ubicados en la frontera Sur del Estado de México mediante el software “Mapa Digital” del Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI [9]; se agruparon de acuerdo con las Regiones Ambientales (RA) del Estado de México [10]; y se seleccionó la RA con mayor número de municipios periféricos. De esta RA se eligieron dos municipios colindantes del norte y dos del sur, cuidando que en estas parejas uno tuviera ingresos altos y el otro ingresos bajos.

2.2 Análisis de la gestión de los residuos sólidos

Para el análisis del MIRSU de los municipios seleccionados se recolectó información mediante la aplicación de una Cédula de Entrevista (CE) a las autoridades responsables de éste. La CE fue elaborada con la Línea de Generación y Aplicación de Conocimiento (LGAC) “Tratamiento de Contaminantes y Gestión Ambiental clave LGAC-2017-TOLU-DAMB-26 del Instituto Tecnológico de Toluca, tomando como base la “Guía para la Elaboración de Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos” [11]; y ha sido revisada por expertos de la Red Iberoamericana en Gestión y Aprovechamiento de Residuos (REDISA) y la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos, A.C. (SOMERS). La CE está dividida en cinco módulos: Marco Legal e Institucional, Económico y Financiero, Barrido, Recolección y Disposición Final. Para la composición de los RSU se utilizaron las caracterizaciones reportadas por López-Gasca [12].

2.3 Análisis económico

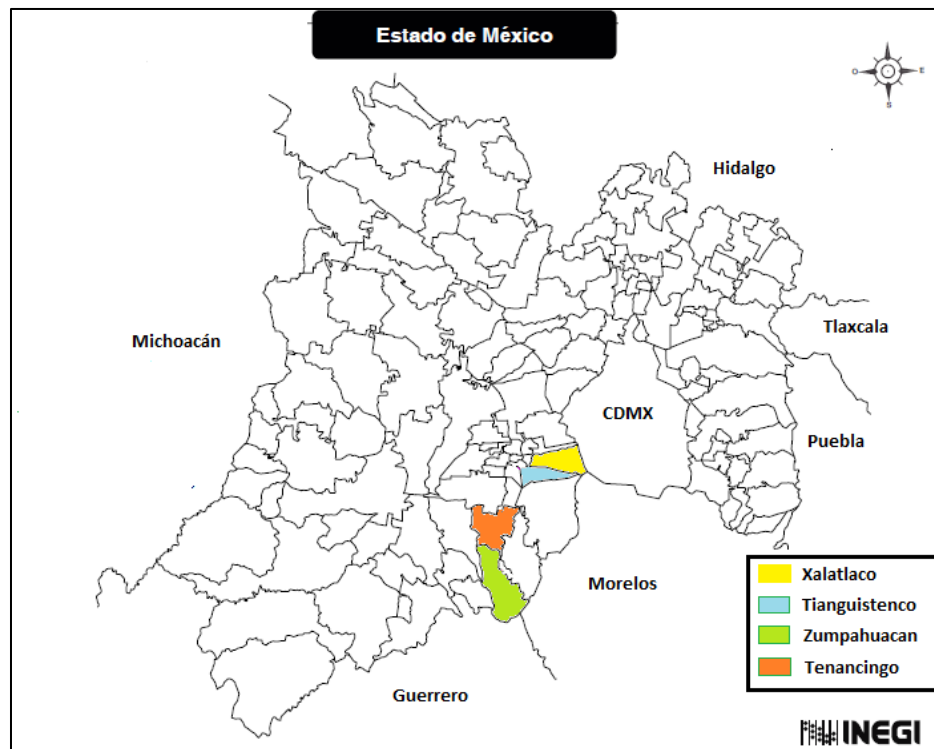
Mediante los datos recopilados con la CE, se obtuvo información de las cantidades de Residuos Valorizables Inorgánicos (RVI) que algunos de los municipios tenían y cuanto representaba monetariamente; dicha información se ordenó en una hoja de Excel. Para determinar los precios de los RVI, se realizaron cotizaciones en tres empresas de compraventa de materiales reciclables de la zona Metropolitana del Valle de Toluca; y se calculó un valor promedio para cada uno de ellos. Se plantearon dos escenarios de recuperación de RVI y se estimaron los beneficios económicos para los municipios seleccionados:

- a) Escenario Base; se consideraron los datos de recolección de RSU de la CE y los ingresos de los RVI proporcionados por los responsables del MIRSU en cada municipio.
- b) Escenario Proyectado; se consideraron para los cuatro municipios seleccionados, los datos de la composición de subproductos reportados por López-Gasca [12] y los precios promedio de compraventa para RVI por tres empresas; y se calcularon los beneficios económicos suponiendo que se recuperaran y comercializaran el 80% de los RVI en cada municipio, así como el ingreso bruto por su venta si se trabaja en parejas de municipios; además se estimó el ahorro por dejar de disponer en un relleno sanitario la cantidad de RVI comercializados.

3. Resultados y discusión

3.1 Selección de los municipios a estudiar

Fue seleccionada la RA “Río Lerma Subcuenca la Laguna”, de la cual se eligieron los municipios de Tianguistenco y Xalatlaco al norte; y de Tenancingo y Zumpahuacán al sur (Figura 1); los cuales reportan una población de 77147, 29572, 97891 y 16927 en 2015, respectivamente [3].



Fuente: Adaptado de [13].

Figura 1. Municipios del área de estudio

3.2 Análisis de la gestión de los residuos sólidos

Conforme a la información colectada en la CE, en la Tabla 1 se presentan los datos de los diferentes residuos valorizables y rangos de precios en los cuatro municipios elegidos. Tenancingo y Tianguistenco son los municipios con mayor recolección de RSU (2100 y 2400 t/mes respectivamente), mientras que Zumpahuacán y Xalatlaco recolectan 240 y 840 t/mes respectivamente. Los RVI que se recuperan en

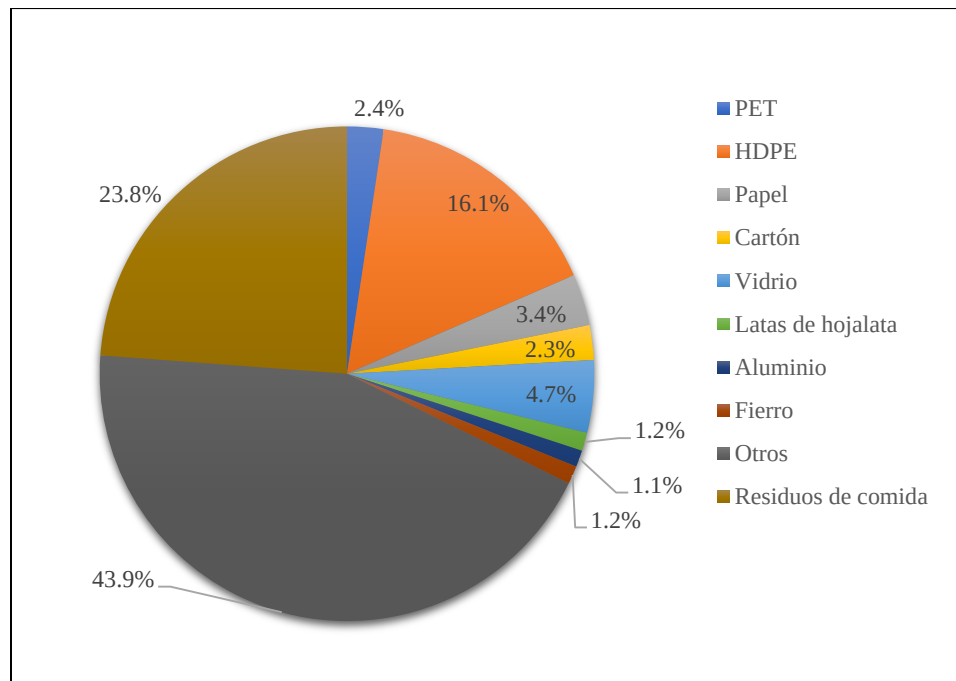
mayor cantidad son: cartón, PET y aluminio. Xalatlaco tiene recolección selectiva de residuos orgánicos (RO) y logra recuperar 60 t/sem, con lo que se elabora composta. La composta se usa en jardines públicos y se ofrece gratuitamente a la población. Lo reportado como Información No Disponible (IND), se refiere a que las autoridades no tienen contabilizadas las cantidades a detalle.

Tabla 1. Residuos Valorizables registrados

Municipio	Cartón (t/mes)	Papel (t/mes)	HDPE (t/mes)	PET (t/mes)	Vidrio (t/mes)	Aluminio (t/mes)	Lata de hojalata (t/mes)	Fierro (t/mes)	RO (t/mes)
Tianguistenco	0.84	IND	IND	2.80	IND	0.08	IND	IND	0.00
Xalatlaco	IND	IND	IND	IND	IND	IND	IND	IND	240.00
Tenancingo	0.24	IND	IND	0.72	IND	0.10	0.04	IND	0.00
Zumpahuacán	0.40	0.80	1.00	0.80	IND	0.32	0.40	IND	0.00
Rango de precios (\$MN/t)	800-500	1000	2000	3000	IND	1100-1600	1500	IND	0

IND, Información no disponible

La composición de RSU reportada para Xalatlaco por López-Gasca [12] se muestra en la Figura 2, donde los residuos de plástico rígido, de vidrio, de papel, de PET y de cartón, son los RVI con mayor potencial de recuperación.



Fuente: [12]

Figura 2. Caracterización de RSU considerada para los cuatro municipios bajo estudio

3.3 Análisis económico

El Escenario Base se resume en la Tabla 2 y muestran la situación actual de la recuperación de RVI, evidenciándose que Xalatlaco carece de información, por lo que no es posible estimar el porcentaje de recuperación. Cabe mencionar que, en los tres municipios que brindaron información, la recuperación es menor al 1% del total de los RSU generados y solo Zumpahuacán rebasa el 1% con respecto a la recolección.

Tabla 2. Escenario base

Municipio	Población 2020	Generación de RSU (t/mes)	Recolección de RSU (t/mes)	Generación de RVI (t/mes)	Recolección RVI (t/mes)	RVI recuperados con respecto a la Generación (%)	RVI recuperados con respecto a la Recolección (%)	Ingresos (MXN\$/mes)
Tianguistenco	81,484	2,933.44	2,400.00	959.24	3.72	0.13	0.16	8,908.00
Xalatlaco	31,235	1,124.45	840.00	367.69	0.00	0.00	0.00	0.00
Tenancingo	103,395	3,722.21	2,100.00	1,217.16	1.10	0.03	0.05	2,445.60
Zumpahuacán	17,879	643.63	240.00	210.47	3.72	0.58	1.55	11,240.00

Con la composición de RSU reportada por López-Gasca [12] se puede llegar a recuperar hasta el 32.7 % de RSU recolectados. Para el Escenario Proyectado se muestra en la Tabla 3 el 80% de los RVI recolectados, donde los mejor cotizados son el PET, aluminio y materiales ferrosos. En este escenario Tenancingo y Tianguistenco serían los municipios con mayores ingresos por la venta de RVI, en tercer lugar, Xalatlaco y finalmente Zumpahuacán; y se evitaría que se dispusieran el 26.2% de sus RSU.

193

Tabla 3. Escenario proyectado

RVI	Precio promedio (MXN\$/t)	Tenancingo		Zumpahuacán		Tianguistenco		Xalatlaco	
		t/mes	\$/ mes	t/mes	\$/ mes	t/mes	\$/ mes	t/mes	\$/ mes
Cartón	1,400.00	38.64	54,096.00	4.42	6,182.40	44.16	61,824.00	15.46	21,638.40
Papel	1,916.67	57.12	109,480.19	6.53	12,512.02	65.28	125,120.22	22.85	43,792.08
PET	2,833.33	40.32	114,239.87	4.61	13,055.98	46.08	130,559.85	16.13	45,695.95
Vidrio	266.67	80.64	21,504.27	9.22	2,457.63	92.16	24,576.31	32.26	8,601.71
Aluminio	16,000.00	18.48	295,680.00	2.11	33,792.00	21.12	337,920.00	7.39	118,272.00
Latas	1,333.33	20.16	26,879.93	2.30	3,071.99	23.04	30,719.92	8.06	10,751.97
Fierro	2,400.00	20.16	48,384.00	2.30	5,529.60	23.04	55,296.00	8.06	19,353.60
HDPE	1,200.00	273.84	328,608.00	31.30	37,555.20	312.96	375,552.00	109.54	131,443.20
Totales		549.36	998,872.26	62.78	114,156.83	627.84	1,141,568.2	219.74	399,548.90

Considerando el costo de disposición de \$ 220.40 MNX/t de RSU (proporcionado por el RESA de Tenango del Valle, Edo. de México), en el Escenario Base se está gastando \$ 1,227,949.78 MNX por disposición final (5580.00 t/mes recolectadas y 8.54 t/mes de RVI comercializados; Tabla 2) ; si se lograrán recuperar sobre 1460.00 t/mes de RVI como se plantea en el Escenario Proyectado, este gasto de reduciría y habría un ahorro de \$ 321,784.00 MNX/mes.

Es recomendable trabajar el MIRSU mediante la unión de dos o más municipios, como el Sistema Intermunicipal de Manejo de Residuos Sureste (SIMARS), que diseña políticas intermunicipales para la reducción, reutilización, valorización y tratamiento de los residuos [14]. Se propone el trabajo en conjunto de Tenancingo y Zumpahuacán cuyo ingreso por la venta de RVI sería de \$1,113,029.09 MXN/mes y la unión de Tianguistenco y Xalatlaco, que tendrían un ingreso de \$1,541,117.20 MXN/mes. Estos ingresos son brutos y se deben restar los costos de transporte a las empresas recicladoras, los cuales se verán reducidos si se trabaja en conjunto. Ambas parejas de municipios cuentan con Estaciones de Transferencia que podrían servir como centros de acopio de RVI y reducir sus costos de transporte para la disposición.

Otros beneficios económicos serían la creación de empleos, apoyos en impuestos municipales, mejoramiento del sistema de MIRSU y el mejoramiento de espacios públicos. Un ejemplo a seguir es el programa creado por el Honorable Ayuntamiento de Orizaba, llamado “Basura y predial”, con este programa han logrado recuperar y aprovechar 2,700 t/mes de residuos valorizables, además de ayudar al ciudadano a cumplir con el pago de sus contribuciones municipales promoviendo la separación de la basura, convirtiéndose así en una ciudad limpia y sustentable [15].

4. Conclusiones

La recuperación actual de RVI en los municipios seleccionados es menor a 1.0% del total de los RSU recolectados, lo cual al compararlo con el potencial del Escenario Proyectado (26.2 %), destaca el área de oportunidad que éstos tienen.

El dejar de disponer los RVI del Escenario Proyectado, además de representar ingresos por su comercialización y ahorro por disposición, redundarían en beneficios ambientales

El trabajo en conjunto de los municipios de este estudio para incrementar la recuperación y venta de RVI al mejor precio, aumentaría sus ingresos y evitaría que al menos la tercera parte de sus RSU se dispusiera, con lo que se contribuiría significativamente a lo requerido por la Agenda 2030. La falta de información incrementa la necesidad de que los responsables del MIRSU comprendan su importancia y la comunicación con las administraciones municipales es fundamental para mejorar la gestión de los RSU.

194

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de ciencia y Tecnología CONACYT por el otorgamiento de la beca para realizar estudios de posgrado en el país.

Al Instituto Tecnológico de Toluca por permitirme ser integrante del grupo de estudiantes de Maestría Ciencias de la Ingeniería Ambiental.

Referencias Bibliográficas

- [1] Malinauskaite J., Jouhara H., Czajczynska D. , Stanchev P. , Katsou E. , Rostkowski P., Thorne R.J., Colon J., Ponsa S. , Al-Mansour F., Anguilano L., Krzyzynska R., Lopez I.C. , Vlasopoulos A., Spencer N. (2017). “Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe”. *Energy*. 141, p. 2013 and 2044. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.128>
- [2] Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P. and Van Woerden F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Group, Urban Development Series, p. 1-176.
- [3] INEGI. (2017). Anuario estadístico y geográfico de México 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. En línea < <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825097912>>

Recuperado el 11/01/2019.[4]-SEMARNAT. (2015). Información de la situación del Medio Ambiente en México 2015, Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. En Línea <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf> Recuperado el 20/04/2020.

[5] BM. (2018). Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos. Banco Mundial. En línea < <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>> Recuperado el 01/04/2020.

[6] ONU. (2015). La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas.

En línea <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>> Recuperado el 04/03/2019.

[7] Pires A. y Graça M. (2019). “Waste hierarchy index for circular economy in waste management”. *Waste Management*, 95, p. 298–305. Doi: 10.1016/j.wasman.2019.06.014

[8] Gobierno de México, Agenda 2030. (2018). Avances y retos en la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en México. Comunicado del Gobierno de México. En línea <<https://www.gob.mx/agenda2030/prensa/avances-y-retos-en-la-implementacion-de-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible-en-mexico?state=published>> Recuperado el 30/04/2020

[9] INEGI. (2020). Mapa digital. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. En línea <<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjIzLjMyMDA4LGxvbjotMTAxLjUwMDAwLHo6MSxsOmMxMTFzZXJ2aWNpb3N8dGMxMTFzZXJ2aWNpb3M=>>> Recuperado el 04/04/2020.

[10] POGELSM. (2018). Decreto número 313, por el que se reforma el artículo 126 de la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México. Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de México. Registro DGC num. 001 1021 Características 113282801. Toluca, Estado de Mexico. En línea

<http://legislacion.edomex.gob.mx/decretos_del_legislativo> Recuperado el 05/06/2019

[11] SEMARNAT-GTZ. (2006). Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. En línea

<https://www.oaxaca.gob.mx/semaedeso/wpcontent/uploads/sites/59/2016/02/Gu%C3%ADa_PMPGIRS_U.pdf> Recuperado el 15/11/2019

[12] López-Gasca S.O. (2020). Propuesta de ubicación y prediseño de un relleno sanitario intermunicipal, entre Morelos y el Estado de México (Tesis de maestría). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Edo. de México, Méx.

[13] INEGI. (2018). Mapa Estado de México, División Municipal. Marco Geoestadístico. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. En línea < www.cuentame.inegi.org.mx > Recuperado el 10/04/2020.

[14] SIMAR Sureste. (2016). Informe de Actividades 2016, Sistema Intermunicipal de Manejo de Residuos Sureste, México. En línea

<<http://simarsureste.org/wp-content/uploads/2017/05/INFORME-DE-ACTIVIDADES-2016.pdf>> Recuperado el 28/04/2019

[15] HAO. (2019). Limpia pública y ecología. Honorable Ayuntamiento de Orizaba. En línea < <http://ww2.orizaba.gob.mx/Dependencias/Limpia-p%C3%BAblica> > Recuperado el 10/04/2020

Acopio y recuperación de los Residuos Sólidos Urbanos en la Cabecera Municipal de Mexicaltzingo, Estado de México

Hochstrasser Castillo Nancy¹, De la Rosa Gómez Isaías¹,
Hernández Berriel María Consuelo¹ Borbón Morales Carlos Gabriel²

¹División de estudios de posgrado e investigación, Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n. Col. Ex Rancho La Virgen, CP. 52140, Metepec, Estado de México., México.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46 Col. La Victoria, CP. 83304, Hermosillo, Sonora, México.

* nhochstrasserc@toluca.tecnm.mx

Resumen

Los estudios de generación y cuantificación de subproductos de los residuos sólidos urbanos (RSU) son herramientas para la toma de decisiones en los municipios. Este trabajo tuvo por objetivo el acopio y recuperación de los RSU en la cabecera municipal de Mexicaltzingo en el Estado de México; primero para determinar la generación por medio de la norma NMX-AA-061-1985, la NMX-AA-015-1985 para cuarteo y la NMX-AA019-1985 para determinar su peso volumétrico. La generación per cápita de residuos domiciliarios fue de 0.61kg/hab.-d. Respecto a la composición, se encontró que la fracción orgánica mantiene porcentajes altos (49.54%), seguido de otros subproductos como cartón y papel (10.46%), plásticos (7.47%); segundo se implementó un estudio piloto sobre acopio de residuos reciclables para valorizarlos. Se encontró que al menos entre el (41.41% al 51.35%) podría ser valorizado, donde los residuos reciclables representan el (21.65%) y los residuos orgánicos entre el (19.76% al 29.70%), para ello se capacitó (casa por casa) y se incentivó a la población para valorar su acopio de residuos reciclables y poder demostrar el ahorro para el municipio.

Palabras Clave: *residuos, valorización, capacitación, ahorro*

1. Introducción

La generación mundial de RSU es de 2.01 mil millones de t/año, de los cuales al menos el 33% no es gestionado de manera ambientalmente segura. El promedio generado por persona es de 0.74 kg/d, pero varía ampliamente entre 0.11 a 4.5kg/d. Los países de altos ingresos generan el 34% de RSU del mundo, pese que solo representan el 16% de la población mundial. Se espera que los RSU globales sean de 3.40 billones de toneladas para 2050 y se prevé que la generación diaria per cápita en los países de altos ingresos aumente en un 19% para 2050, en comparación con los países de bajos y medianos ingresos donde, se prevé que aumenten un 40%. Siendo así, se espera que la cantidad total de RSU generados en los países de bajos ingresos aumente más de tres veces para 2050 [1].

La composición de los RSU está influenciada por varios factores: tales como nivel de desarrollo económico, normas culturales, ubicación geográfica, fuentes de energía y clima, entre otros. A medida que un país se urbaniza y las poblaciones incrementan sus niveles de ingreso, el consumo de materiales inorgánicos tales como: plásticos, papel y aluminio, también aumenta; mientras que la fracción orgánica disminuye relativamente [2]

En México se generan 120,128 t/día y la generación per cápita calculada es de 0.944 kg/hab.-día, donde 0.653 kg/hab.-día es de origen domiciliario y 0.291 kg/hab.-día es de origen no domiciliario. Cabe señalar que el Estado de México es la entidad federativa que más genera RSU con 16,739 t/día, seguido de la Ciudad de México (CDMX) con 9,552 t/día. Más de la mitad de RSU son de alimentos y jardines, y casi una tercera parte son plásticos, vidrio, papel, cartón, textiles y metales. Debido a su composición, el 31.56% son residuos susceptibles de aprovechamiento por medio del reciclaje o la recuperación de

energía, el 46.42% son residuos orgánicos que pueden ser tratados mediante compostaje o biodigestión y, el 22.03% son otros residuos que posiblemente no sean aprovechables [3].

Siendo así, las actividades técnicas como: la generación y la composición de RSU son herramientas de las formulaciones vitales de su estrategia de manejo. Estas propiedades deben tenerse en cuenta para desarrollar y diseñar sistemas de gestión integrada de residuos sólidos, ya que deben constituir la base para la toma de decisiones respecto a dicha gestión [4]. En el contexto nacional este tipo de estudios son ampliamente utilizados, aunque no frecuentemente divulgados y aún existe un vacío de información dado los 2,457 municipios.

En México existe un problema en el manejo de los residuos sólidos; En el 2015, la SEMARNAT reportó que se recolectaron un promedio de 86,343 t/d de las cuales sólo el 11% de los residuos generados fueron separados o segregados desde su origen. La mayoría de las ciudades y localidades en especial rurales y semi rurales carecen de rellenos sanitarios adecuados, de una estructura gubernamental, infraestructura disponible, inadecuada legislación, problemas financieros y el cambio trienal de gobierno que haga frente de manera eficiente a este relevante problema ambiental [5].

En este contexto se han tenido que buscar nuevas formas para mejorar la gestión municipal de los RSU; una de las más utilizadas ha sido la privatización de los servicios, tal como lo han hecho los municipios fronterizos de Juárez, Reynosa y Tijuana [6]. Otra forma ha sido la implementación de estrategias de cooperación intermunicipal, como el SIMAR- Sureste en Jalisco, quienes realizan constantemente estudios de cuantificación y caracterización de RSU [7]. También hay lugares donde se ha trabajado de manera empírica pero funcional y exitosa, sin necesidad de la intervención del sector privado, como es el caso de Orizaba, Veracruz [8]. En el Estado de México se han desarrollado estudios, como los de Xalatlaco, Ocuilan y otros municipios cercanos [9]; donde actualmente se está trabajando para disponer sus RSU de manera sostenible.

Con el fin de contribuir a la mejora del manejo de los RSU en el Estado de México, mediante alternativas; el objetivo de este trabajo fue determinar el acopio y recuperación de los residuos valorizables contenidos en los RSU de la cabecera municipal de Mexicaltzingo, Estado de México; demostrar la importancia de la participación de la ciudadanía y hacer dos escenarios de recuperación que pudieran incluir a los residuos orgánicos.

2. Metodología

2.1 Descripción del área de estudio

En agosto 2019, se buscó información histórica y actual de los planes de desarrollo e información de Catastro del municipio de Mexicaltzingo, para conocer aspectos geográficos, sociales y económicos, además, se hizo una proyección al 2025 de la población usando Excel con línea de tendencia, a fin de conocer la situación actual y futura del municipio.

Posteriormente, se partió de información de campo colectada durante los meses de septiembre y octubre 2019, mediante cédulas de entrevista y de encuestas, las cuales fueron desarrolladas por la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC) del Doctorado en Ciencias Ambientales “Tratamiento de Contaminantes y Gestión Ambiental”, clave LGAC-2017-TOLU-DAMB-26 y estudiantes del posgrado en Ciencias Ambientales del Instituto Tecnológico de Toluca.

Con las autoridades pertinentes del municipio, se aplicó una cedula de entrevista en el mes de septiembre del 2019, a fin de obtener información sobre su Manejo de RSU, para tener un panorama previo de la situación del municipio.

En los hogares se aplicaron encuestas con el apoyo de 3 jóvenes del Programa Jóvenes Construyendo el Futuro, para precisar la opinión pública sobre el manejo actual de RSU en el municipio de Mexicaltzingo, en un periodo del 7 al 12 de octubre del 2019, esta se basó en un cuestionario de respuestas múltiples, la siguiente información que predominó fue, por una parte, sobre la gestión de residuos sólidos urbanos y por otra parte se preguntó sobre las características de la vivienda.

2.2 Estudio de generación y composición de RSU

Se consideraron seis colonias de la cabecera de Mexicaltzingo: Centro, El Calvario, La Estación, San José, Tecuanapa y Azcapotzalco. De acuerdo con la ecuación 1, se seleccionaron 154 casas, aleatoriamente repartidas en las colonias como premuestras, de acuerdo con lo que indica la norma NMX-AA-061-1985 [10] para trabajar con un error típico de 0.1% y una varianza de 0.25 y con un nivel de confianza del 99%.

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

Donde:

n = tamaño de la muestra que deseamos conocer

N= tamaño conocido de la población,

e = error típico

z = nivel de confianza

pq = varianza

Se realizó la identificación, la explicación y las entrevistas a los jefes de familia de las 154 viviendas participantes, se inició el 14 de octubre de 2019, entregándoles una bolsa de polietileno para colocar los residuos generados y se recolectó al día siguiente para su posterior pesado y análisis. Esta operación se repitió hasta el 21 de octubre, la colecta de muestras que se conservan en el espacio definido para su posterior análisis y evitar sesgos en el muestreo.

En las rutas seleccionadas se contó con el apoyo humano con dos becarios federales y de un trabajador del ayuntamiento de tiempo completo, así como el apoyo en infraestructura con una bodega para hacer la caracterización designada por el H. Ayuntamiento de Mexicaltzingo, en donde se registró el peso de cada muestra, para determinar la generación per cápita promedio con la norma NMX-AA-061-1985 [10]. Los RSU colectados se analizaron de acuerdo con lo indicado en la norma NMX-AA-015-1985 para cuarteo [11] y la NMX-AA-019-1985 [12] para determinar su peso volumétrico utilizando un recipiente de 200 L. Para realizar la caracterización y cuantificación de subproductos, fue empleada una porción de aproximadamente 100 kg/d obtenida por el método de cuarteo. Los residuos se colocan en el piso, mismos que se caracterizaron con base en las fracciones y componentes indicados por la NMX-AA-022-1985 [13]. La información obtenida de la caracterización se agrupó para determinar los Residuos Orgánicos (RO), Residuos Reciclables (RR) y la Fracción Resto (FR).

2.3 Acopio y valorización de Residuos Valorizables

Previo al acopio de residuos reciclables, se capacitaron 2,167 hogares (casa por casa) con apoyo de 300 estudiantes del Instituto Tecnológico de Toluca, durante seis sábados, a partir del 26 de octubre hasta el 30 de noviembre del 2019, con la finalidad de sensibilizarlos con respecto a la importancia de separar sus residuos desde origen.

Posteriormente se compraron residuos reciclables a la población durante un mes de 25 noviembre al 20 de diciembre del 2019, se pesaron y se determinó el porcentaje promedio de los siguientes residuos: PET, cartón, plástico rígido, Tetrapak, vidrio, aluminio y chatarra, con el apoyo proporcionado del municipio a través de un trabajador de gobierno, un joven del Programa Construyendo el Futuro y de una camioneta, la

cual fue adaptada, así como un Centro de Acopio formalizado quienes compraban y vendían el material. Finalmente se hicieron dos escenarios, donde se consideró la recuperación del 40% y el 60% de Residuos Orgánicos y el 21% de Residuos Reciclables para proponer su venta o su uso alternativo, a fin de demostrar al municipio el ahorro al separar los residuos.

3. Resultados

3.1 Descripción del área de estudio

Información geográfica y socioeconómica del municipio de Mexicaltzingo

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal 2019-2021, el municipio de Mexicaltzingo, Estado de México, México, se ubica en las coordenadas geográficas entre los paralelos 19° 11' N y 99° 33' W (Figura.1). Se ubica en la zona centro del Estado de México, colindando al norte con el municipio de Metepec, al Oriente con Chapultepec y al Sur y Poniente con Calimaya. Cuenta con una extensión territorial de 11.416 km² que representan el 0.05% de la superficie total del Estado. En 2019 reportó una densidad poblacional de 1,116 hab./km² en tres de sus localidades Cabecera Municipal, Delegación Mazachulco y Delegación San Isidro [14].



Figura 1. Área de estudio, Plan de Desarrollo Municipal Mexicaltzingo 2019-2021, [14]

Según el censo del 2017 tenía una población total de 13 833 hab. y una densidad poblacional es de 756 hab./km². De 1990 a 2010 el municipio registró un crecimiento poblacional del 61.59% y en los últimos años no ha presentado cambios significativos, por lo que se proyecta una población de 14,631 hab. para el 2025 (Figura 2). Además, el municipio cuenta con índice de rezago social catalogado muy bajo, de la misma manera el índice de marginación se estima en muy bajo (-1.37); y en 2017, el municipio registraba 698 unidades económicas, de las cuales 682 se consideraron como microempresas, 13 pequeñas empresas y tres medianas empresas. En la distribución de la población económica activa (PEA) por sector, destacan los comercios al por menor (79.19 %), en segundo lugar, está la industria manufacturera con el 15.47 % y

en tercer término el sector primario con un 2.77%. Cabe señalar que es un municipio conocido por la venta de derivados de carne de cerdo y de productos textiles [14].

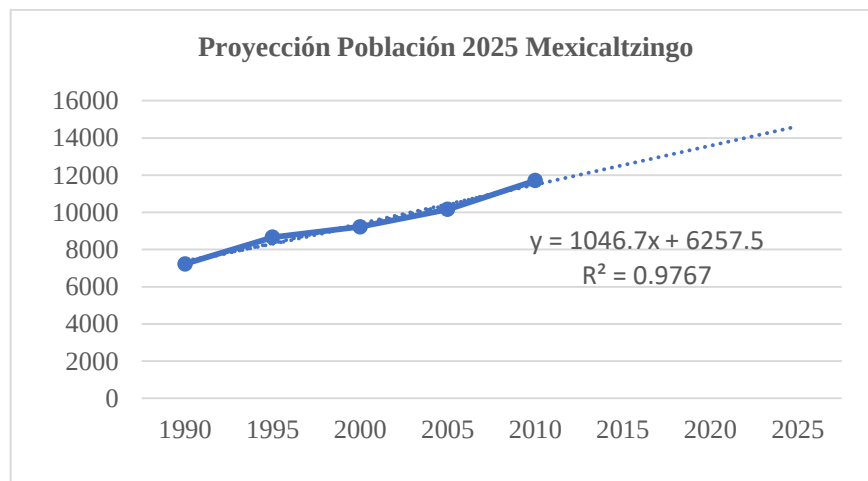


Figura 2. Proyección Población total Mexicaltzingo 2025.

Información del manejo actual de RSU en Mexicaltzingo

De acuerdo con información obtenidas de las cédulas de entrevista, el Departamento de servicios públicos y ecología de Mexicaltzingo reportaron que la cantidad de RSU generada por la población del municipio es de 12.25 t/d, sin embargo, esta ha aumentado a casi 17 t/d en el último año; debido a que cuenta con un rastro municipal, el cual genera 3 t/d de residuos. La actividad económica de la población es el comercio en un 70% y su generación de residuos es entregado al municipio, aunado al crecimiento de pequeños lotes de casas habitacionales. Cabe mencionar que de acuerdo con el crecimiento de la población se proyectan 23 t/d para el 2025, sin considerar las otras actividades. En este municipio se presentan muchos problemas operativos en manejo de los RSU, ya que no cuentan con el equipo y las herramientas suficientes para realizarlo con éxito. Se presenta una baja planeación en cuanto a su organización, desde la etapa de barrido, colecta y disposición final. Cuenta para prestar el servicio con dos camiones recolectores tipo compactador, un camión grande, uno pequeño y con doce personas para su operación. La recolección se realiza en la cabecera municipal y en las delegaciones dos veces por semana. El costo para el manejo de RSU es \$400/t; \$250/t en el Relleno Sanitario donde se depositan, lo que representa un gasto de \$2,448,000 anuales.

Información de la opinión pública de la cabecera de Mexicaltzingo

De acuerdo a las encuestas que se realizaron en octubre 2019 con apoyo de los jóvenes del Programa Construyendo el Futuro, se encontró que los hogares de Mexicaltzingo, el 66.67% considera que tanto los ciudadanos y los ayuntamientos deben hacerse responsables de la gestión de los RSU, el 48.18% usan bolsas y el 44.44% usan contenedores para almacenar sus RSU, las personas no respondieron porque no separan sus RSU, por lo que solo el 14.81% contestó que es por falta de tiempo, el 17.28% por falta de tiempo y el 17.28% porque el recolector los junta, el 82.1% le entrega sus RSU al ayuntamiento, el 71.6 % genera entre 5 a 15kg de RSU cada tercer día, el 40.74% considera que los camiones recolectores no son adecuados, el 53.08% de las personas dan propinas de \$5 a \$20, el 41.36% considera que el servicio es regular, solo el 22.84% de la población no está dispuesta al cobro por recolección de RSU, el 25.31% sugiere cambiar los camiones, el 54.32% le gustaría participar en un Comité, el 72.84% de la población está dispuesta a capacitarse, el 65.43% de la población residen entre 4 a 6 personas por cada hogar.

Viendo esta situación es claro que los residentes de Mexicaltzingo están dispuestos a cambiar, sin embargo, se observa que no tienen claro el porque es importante la separación de residuos por lo que la capacitación, el cobro por colecta, la participación ciudadana y las multas son fundamentales para una adecuada Gestión de RSU.

3.2 Estudio de generación y composición de RSU

Generación per cápita de RSU

En cuanto al muestreo de las 154 viviendas preseleccionadas, únicamente se logró trabajar con 83, mismas que participaron en la entrega de muestras durante el periodo de estudio, respetando el horario de 7:00-16:30 horas en las seis colonias. La cantidad de residuos es constante los cuatro primeros días de la semana (Tabla 1), mientras que en los fines de semana disminuye su generación, con la excepción de las tres colonias (Centro, Calvario y Estación), que es una zona donde las casas habitación tienen comercios; a diferencia de las otras tres colonias quienes son comerciantes de tianguis en otros municipios.

Tabla 1. Cantidad de residuos recolectados de RSU en Mexicaltzingo.

	Col. Centro (kg)	Col. El Calvario (kg)	Col. La Estación (kg)	Col. Azcapotzalco (kg)	Col. Tecuanapa (kg)	Col. San José (kg)	TOTAL
No. casas	18	19	15	8	8	10	78
lunes	27.50	47.00	39.20	28.10	30.00	11.30	160.90
martes	51.00	42.20	42.25	30.10	7.80	12.00	186.15
Miércoles	31.90	39.10	47.20	26.95	8.60	10.50	169.20
Jueves	37.50	35.40	60.40	20.30	13.50	18.20	184.45
Viernes	46.70	32.40	38.70	16.70	12.60	9.60	152.40
Sábado	22.20	31.80	46.00	17.40	8.30	15.10	142.25
Domingo	35.40	33.60	37.90	13.90	9.70	6.00	129.50
Total	252.20	261.50	311.60	153.40	90.60	82.70	1,124.85

Se encontró que la generación per cápita promedio es de 0.61 kg/hab.-d; donde la Colonia Centro fue la de mayor generación (0.85 kg/hab.-d) y la Colonia San José la de menor (0.37 kg/hab.-d). Esto debido a la relación que existe entre los hábitos de consumo, además de que la zona centro es una zona comercial.

Densidad y composición de RSU

En la tabla 2, se presentan los datos del peso volumétrico y generación de los RSU obtenidos en las colonias en estudio.

Tabla 2. Peso volumétrico por día y generación per cápita por colonia

Colonias	Peso Volumétrico (kg/m ³)							Generación (kg/hab.-d)
	L	M	M	J	V	S	D	
Centro	89.02	55.23	85.84	64.83	84.31	43.27	64.68	0.85
El Calvario								0.64
La Estación								0.79
Azcapotzalco								0.62
Tecuanapa								0.43
San José								0.37
Promedio								0.61

El peso volumétrico determinado los lunes, miércoles y viernes fue superior de 80 kg/m³, mientras que el peso volumétrico promedio para municipios más pequeños a nivel nacional es de 34.35 kg/m³ [3].

De la caracterización de los RSU en casa-habitación, se observó que los residuos alimenticios fueron lo de mayor porcentaje en la cabecera, con 31.17% (Tabla 3); y en orden descendente, los más representativos fueron, jardinería (9.49%), hueso y carne (8.74%), otros (7.73%), pañal desechable (7.13%) e higiénico (7.01%), papel (6.16%) y plástico de película (5.5%). Esto sería un nicho de oportunidad para su valorización y aprovechamiento. Cabe mencionar el vidrio transparente y el trapo también se generan de manera importante.

Tabla 3. Composición de RSU de la Cabecera Municipal de Mexicaltzingo

Fracción	Componentes	% en peso	% Total
Orgánica	Residuos Alimenticios	31.17	49.54
	Residuos de jardinería	9.49	
	Hueso y carne	8.74	
	Madera	0.15	
Papel y Cartón	Cartón	3.38	10.46
	Papel	6.16	
	Envase en cartón encerado	0.92	
Plásticos	PET	1.08	7.47
	Plástico de película	5.50	
	Plástico rígido	0.89	
Vidrios	Vidrio de color	0.50	3.08
	Vidrio transparente	2.58	
Metales	Lata	0.04	0.64
	Material ferroso	0.59	
Peligrosos	Medicamentos y pilas	0.40	0.40
Tecnológicos	Electrónicos	0.10	0.10
No aprovechables	Algodón	0.14	28.32
	Cuero	0.33	
	Fibras sintéticas	0.04	
	Higiénico	7.01	
	Hule	0.20	
	Loza y cerámica	0.21	
	Material de construcción	0.98	
	Material no-ferroso	0.13	
	Otros	7.73	
	Pañal desechable	7.13	
	Poliestireno expandido	0.40	
	Poliuretano	0.07	
	Residuo fino	2.13	
	Trapo	1.81	
Total		100.00	100.00

En la figura 3, se muestran los resultados del total por grupo de residuos agrupados. Donde el principal subproducto es el residuo Orgánico con un 49.54%. Los residuos con un alto grado de humedad al ser mezclados con otros residuos pierden fácilmente su valor, tal es el caso del cartón y papel que representa el 10.46%, plásticos con un 7.47% y otros residuos reciclables. Cabe mencionar que se agregó los huesos

y carnes como un apartado debido a que una parte importante de la economía del municipio es el procesamiento de carnes porcinas.

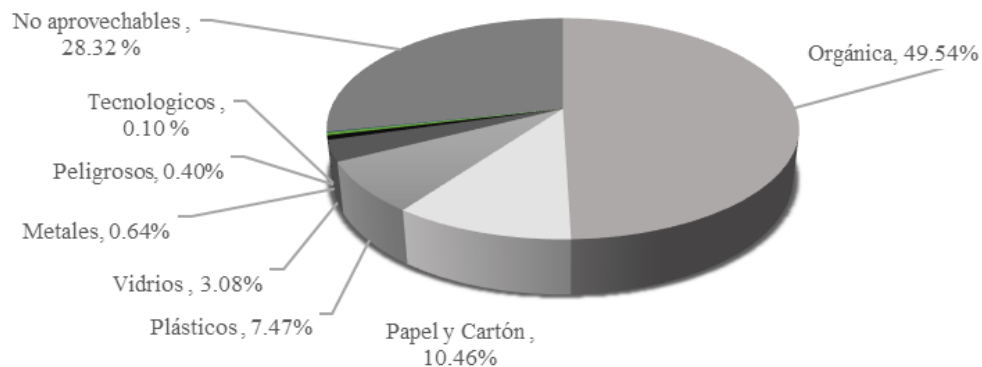


Figura 3. Porcentaje promedio por subproductos en la cabecera municipal de Mexicaltzingo, casa habitación

Para determinar el porcentaje total de Residuos Orgánicos (RO), Residuos Reciclables (RR) y Fracción Resto (FR) en cada una de las localidades y en la cabecera, los subproductos se agruparon de acuerdo con la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de los subresiduos

Categorías	Residuos
RO	Residuos jardinería, Residuos alimenticios, carnes, cuero y huesos.
RR	Cartón, Envase en cartón encerado, Lata, Metales Ferrosos, Papel, PET, Plástico Rígido, Vidrio de color y transparente.
FR	Algodón, Electrónicos, Fibra dura vegetal, Fibras sintéticas, no ferrosos, higiénico, Hule, Loza y Cerámica, Madera, Material de construcción, Medicamentos, Otros, Pañal desechable, Plástico de película, Poliestireno expandido, Poliuretano, Residuo Fino, Trapo.

203

En la cabecera de Mexicaltzingo el mayor porcentaje es para RO seguido de la FR y en menor cantidad los RR, (Tabla 5). Esto sugiere subdividir más la Fracción Resto para poder determinar que residuos se puede reutilizar.

Tabla 5. Subproductos de la cabecera de Mexicaltzingo

% RO	%RR	%FR	TOTAL
49.54	21.65	28.80	100

3.3 Acopio y valorización de Residuos Valorizables

Capacitación a la población de la cabecera municipal de Mexicaltzingo

Se realizó primero una capacitación a la población casa por casa, con apoyo de 300 estudiantes del Instituto Tecnológico de Toluca, visitando a 2,176 hogares (Figura 4), esto durante seis sábados. Cabe señalar que se contó con el apoyo económico de comerciantes locales para la elaboración de carteles para vehículo, stickers y trípticos para la población.



Figura 4. Capacitación casa por casa y material de trabajo

Proceso de valorización de Residuos reciclables

Posteriormente, para recolectar residuos reciclables tres veces por semana durante un mes a la población; lográndose recolectar 1.6 t/mes con solamente 60 hogares, estos residuos fueron almacenados en una bodega del Instituto Tecnológico y posteriormente vendidos con un recolector especializado (Figura 5).



Figura 5. Etapas para el proceso de valorización

Posteriormente se compraron y se vendieron dichos residuos con el apoyo del Centro de Acopio, para hacer un estimado de ganancias y los resultados de dicha recolección se presentan en la figura 6, donde el cartón representó el mayor porcentaje, seguido del PET, papel, vidrio y chatarra.

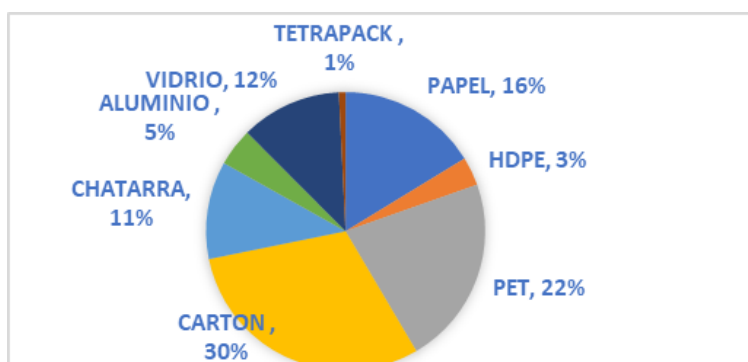


Figura 6. Porcentaje de RR recolectados

En la tabla 6, se presenta la compra de RR a la población y la venta de RR a un Centro de Acopio, donde se obtuvo una ganancia de \$1,579.35. Sin embargo, cabe considerar que, descontando \$500 a la semana de gasolina en tres semanas, no representa una ganancia, por lo que se sugiere tener un lugar en específico para que los habitantes lleven sus RR. Además, es importante buscar un valor a los residuos vidrio y Tetrapak ya que no se logró poder tener una ganancia y son residuos que la población no está acostumbrada a vender y generan de manera considerable.

Tabla 6. Comercialización de residuos reciclables

Residuos reciclables	Cantidad colectada (k)	Precio de Compra	Precio de venta	Ganancia
Papel	268.47	\$ 0.80	\$ 3.00	\$ 590.63
HDPE	55.11	\$ 2.00	\$ 3.00	\$ 55.11
PET	362.74	\$ 3.00	\$ 4.00	\$ 362.74
Cartón	500.15	\$ 0.80	\$ 1.20	\$ 200.06
Chatarra	187.74	\$ 1.30	\$ 2.50	\$ 225.29
Aluminio	72.76	\$ 12.00	\$ 14.00	\$ 145.52
Vidrio	193.11	\$ 0.50	\$ 0.50	\$ -
Tetrapak	12.69	\$ 0.70	\$ 0.70	\$ -
				\$ 1,579.35

Recuperación de Residuos Valorizados

En el estudio de caracterización, se identificó que los residuos que pueden ser valorizados son los Residuos Reciclables (RR) y los Residuos Orgánicos (RO), los RR representan el 21.65 % de 17 ton/d, lo que representa 3.68 t/d (Recuperación A y B) que inmediatamente se pudieran evitar enviar al Relleno Sanitario (RESA) ver tabla 7. Los resultados muestran que la población almacena sus RR y posteriormente los vende, por lo que esta cantidad pudiera duplicarse, mediante un programa de separación de residuos desde origen. El municipio debería promover en la población en general un programa de intercambio de sus residuos por despensas, bonos de predial o dinero.

Para los RO se requiere días diferenciados de acopio para que la población separe residuos verdes e inertes a fin de procesar al menos de 3 t/d (Recuperación A) a 5 t/d (Recuperación B) en composta diaria e invitar a los tianguistas y restaurantes a participar en el Programa. Cabe distinguir que es necesario formular una propuesta para revalorizar los residuos cárnicos que representan 4.5 t/d.

Tabla 7. Escenarios de recuperación

Escenario	Recuperación			
	A		B	
	%	ton/d	%	ton/d
RR	21.65	3.68	21.65	3.68
RO	19.76	3.36	29.70	5.05
Envío FR al RESA	58.59	9.96	48.65	8.27
	100	17	100	17
Ahorro al RESA anuales	\$642,400.00		\$796,612.50	

Es de señalar que actualmente el costo de disposición de los RSU al Relleno Sanitario es de \$250/t y \$450/t por el manejo total, lo que representa aproximadamente 2.5 millones de pesos por año. Se sugeriría al municipio hacer un programa de separación de RSU para aprovechar sustentablemente los residuos y tener considerables ahorros. Para esto se requiere de una mayor gestión por parte del municipio. Sin embargo, no cuentan con el recurso necesario para llevarlo a cabo un programa, se recomendará al

municipio manejar el concepto de Inter municipalidad vinculándose con municipios cercanos para compartir los gastos y ganancias sobre residuos reciclables que decidan manejar.

4. Conclusiones

El presente trabajo muestra los resultados de los estudios de generación y cuantificación de subproductos de los RSU generados en la cabecera municipal de Mexicaltzingo. Así como la opinión pública sobre el manejo actual de los RSU en su municipio. Además, se presenta un estudio piloto para un programa de recolección de residuos reciclables con participación de generadores domiciliarios, para ello la población recibió capacitación previa casa por casa, a fin de sensibilizarlos en el tema. Se realizó un ejercicio de compra y venta de estos residuos, con la finalidad de determinar la viabilidad de esta actividad y se proyectaron dos escenarios para mejorar su manejo de RSU y generar ahorros para el municipio.

Se encontró que el municipio de Mexicaltzingo requiere de una reorganización para el manejo de RSU, se recomienda realizar estudios de factibilidad para los Residuos Orgánicos por ser la fracción de mayor generación (49.54%). Una alternativa para la valorización de esta fracción es la elaboración de composta de residuos orgánicos generados de comercios y tianguis, se sugiere procesar al menos 3 t/d, con la finalidad de vender o utilizar en las áreas verdes. Cabe mencionar que los residuos cárnicos representan 4.5 t/d, por lo que es conveniente buscar alternativas para procesarlos.

Además, es importante aumentar el porcentaje de segregación de Residuos Reciclables que representan (21.65%), el cual podría duplicarse si el municipio optará por dar incentivos a la población. El acopio y tratamiento de estos residuos representan 3.6 t/d, lo que puede disminuir el volumen de residuos dispuestos en el Relleno Sanitario.

Por otra parte, se requiere hacer estudios para el aprovechamiento de residuos sintéticos como telas sintéticas, plásticos de alta densidad, uncel para poder reducir la Fracción Resto que representa el 28.8%, buscando estrategias para que los comerciantes no usen bolsas y/o uncel para almacenar residuos. Cabe distinguir que es pertinente considerar el cobro de recolección a comerciantes que generen más de lo permitido.

Los incentivos y la sensibilización influyen en la participación de la población, por lo que se sugiere hacer Programas de educación y concientización continua sobre valorización de residuos.

Es importante la vinculación entre autoridades municipales y la academia para que los estudiantes realicen el servicio social, integrar a los residentes, comerciantes, e invitar a expertos y empresas dedicadas a procesar los RSU, a fin de desarrollar estrategias para mejorar su manejo y eliminar o mitigar los problemas ambientales producidos por estos residuos.

Se puede afirmar que es posible mejorar la gestión y manejo de residuos, en los municipios, mediante la aplicación de un modelo optimizado donde se involucre a los grupos de interés y se pueda implementar la gestión intermunicipal con otros municipios de la región.

5. Agradecimiento

Los autores agracen el apoyo y facilidades del ayuntamiento constitucional de Mexicaltzingo, Estado de México; ciudadanos y patrocinadores de comercios locales, del Instituto Tecnológico de Toluca; y del Conacyt.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] World Bank. (2018). What a Waste 2.0 Introduction, 1–38. En línea <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329->
- [2] Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). A global review of solid waste management. Urban Development Series Knowledge Papers, 1–116. En línea <<https://www.researchgate.net/publication/306201760>>.
- [3] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2020). *Diagnóstico básico para la Gestión Integral de los Residuos*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En línea <<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>>.
- [4] McDougall, R. White, P, Franke, M, Hindle, P (2001). *Integrated Solid Waste Management: A life cycle inventory* (2^{da} ed.). UK. Blackwell Science. pp. 102-350.
- [5] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2015). *Residuos*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En línea https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf. Recuperado 20/05/20
- [6] García, M., Sánchez, A., Venegas, B. (2014). Gestión de residuos sólidos municipales. Un análisis comparativo. Gestión Ambiental. 25-47. En línea <https://www.researchgate.net/publication/308516226_Gestion_de_residuos_solidos_municipales_en_Mexico_Un_analisis_comparativo>. Recuperado el 20/06/20.
- [7] Couto, I. & Hernández, A. (2012). Participación y rendimiento de la iniciativa privada en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en la frontera México-Estados Unidos. Gestión y Política Pública. 215-261. En línea <<http://www.scielo.org.mx/pdf/gpp/v21n1/v21n1a7.pdf>>. Recuperado el 20/06/20.
- [8] Ayuntamiento de Orizaba. (2020). Limpia Pública y Ecología. En línea <http://www.orizaba.gob.mx/Dependencias/Limpia-p%C3%BAblica>.
- [9] López, S., Hernández, M., Mañón, M. (2020). Propuesta de Ubicación y Prediseño de un Relleno Sanitario Sustentable Intermunicipal, Entre Morelos y el Estado de México. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Toluca. México.
- [10] DOF-Diario Oficial de la Federación, 1985. Norma Mexicana.NMX-AA-61-1985. Protección al ambiente-contaminación-residuos sólidos municipales- Determinación de Generación. En línea <<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa061.pdf>>. Recuperado el 25/05/2020.
- [11] DOF-Diario Oficial de la Federación, 1985. Norma Mexicana NMX-AA-015-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Muestreo - Método de Cuarteo. En línea <<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa015.pdf>> Recuperado el 25/05/2020.
- [12] DOF-Diario Oficial de la Federación, 1985. Norma Mexicana NMX-AA-019-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales -Peso Volumétrico. En línea <<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa019.pdf>> Recuperado el 25/05/2020.
- [13] DOF-Diario Oficial de la Federación, 1985. Norma Mexicana NMX-AA-022-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos. En línea <<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/NMX-AA-022-1985.pdf>>. Recuperado el 25/05/2020.
- [14] Ayuntamiento de Mexicaltzingo. (2019). Plan de Desarrollo Municipal 2019-2021. En línea <<http://mexicaltzingo.gob.mx/wp-content/uploads/2014/12/Plan-de-Desarrollo-Municipal-2019-2021-Mexicaltzingo.pdf>>. Recuperado el 8/06/2020.

Comparación de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en cuatro municipalidades del Estado de México mediante indicadores socioeconómicos

Danna Sofía Domínguez Vargas^a, María del Consuelo Hernández Berriel^{a*}, Francisco José Colomer Mendoza^b, Otoniel Buenrostro Delgado^c, María del Consuelo Mañón Salas^d.

^a Tratamiento de contaminantes y gestión ambiental, Posgrado en Ciencias Ambientales, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n. Col. Ex Rancho La Virgen, Metepec, Estado de México, C.P. 52140, México. *mhernandezb@toluca.tecnm.mx

^b Departament d'Enginyeria Mecànica i Construcció, Universitat Jaume I. Av. Vicent Sos Baynat, s/n 12071 Castelló de la Plana, Espanya.

^c Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Edificio U4, Ciudad Universitaria, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Calle de Santiago Tapia 403, Centro, Morelia, Mich. C.P. 58000, México.

^d Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos, A.C., Priv Molcajete 44. Fracc. Hacienda de las Fuentes, Calimaya, Estado de México, C.P. 52227, México.

Resumen

Analizar la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos mediante indicadores socioeconómicos, puede ayudar a las municipalidades a realizar sus diagnósticos, que son la base para la toma de decisiones. El presente trabajo compara la Gestión de cuatro municipalidades del sureste del Estado de México aplicando indicadores socioeconómicos, con el fin de identificar áreas de oportunidad para su mejora. Se seleccionaron dos duplas de municipios limítrofes con Índices de Desarrollo Humano diferenciados. Se eligieron 12 indicadores Sociales y siete Económicos; se acopió información aplicando una Cédula de Entrevista a los responsables de la Gestión. Se valoró el desempeño de los indicadores con base a límites expresados en semáforo y se analizaron las duplas de los municipios seleccionados con respecto a sus Índices. Las parejas elegidas fueron Tianguistenco-Ocuilán al norte y Tenancingo-Zumpahuacán al sur. Los indicadores Sociales con desempeños deficientes y regulares, evidenciaron incumplimientos de la legislación, planes y políticas existentes; y aunque los responsables de la Gestión ponen empeño en sus actividades, falta liderazgo y dirección, conllevando a un bienestar pobre para los colaboradores y a la exclusión del sector informal. Los indicadores Económicos mostraron que existen presupuestos, pero la falta de control en las finanzas de la Gestión imposibilita a los responsables a atender áreas prioritarias y la carencia de tarifas limitó la estimación de tres indicadores y de aportaciones ciudadanas. El mayor número de indicadores con desempeño bueno y regular se obtuvo en los municipios de Tianguistenco y Tenancingo, los cuales tienen Índices de Desarrollo Humano mayores.

Palabras Clave: Indicadores, Socioeconómicos, Gestión.

1. Introducción

La Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en los países emergentes, como lo es México [1], se ha vuelto un tema urgente a tratar durante los últimos años, debido al crecimiento económico y al aumento de la tasa de consumo, que ha conducido al incremento en la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), derivando en la necesidad de incrementar los tratamientos, los Sitios de Disposición Final (SDF) y los costos del GIRSU [2]. No obstante, para el cumplimiento de la Agenda 2030, los países están comprometidos a atender la problemática de los residuos mediante la reducción, la reutilización y el reciclado, para minimizar el impacto ambiental negativo per cápita y así combatir el cambio climático [3].

Para analizar y mejorar la GIRSU, especialmente en los países en vías de desarrollo, es importante integrar los aspectos socio-económicos con los técnicos y ambientales en el proceso de toma de decisiones, tal como lo propone la sostenibilidad en WCED [4]. Es por ello que el uso apropiado de indicadores de sostenibilidad puede ser una herramienta poderosa para evaluar los impactos en el medio ambiente y la sociedad. Un indicador es un parámetro o un valor derivado de parámetros, que provee de información o describe el estado actual de un área de estudio o de la actuación pública y su significado se extiende más allá de lo directamente asociado al valor del parámetro, lo que añade información basada en el desempeño anterior de lo estudiado [5], [6]. Los indicadores prometen un alto entendimiento de cómo opera un sistema medioambiental y cómo la acción humana influye en los diferentes pilares de la sostenibilidad [7]. Conjuntamente, el uso de los indicadores adecuados puede ayudar a una ciudad o municipalidad a analizar su propio desempeño, con respecto a la prestación de los servicios involucrados en la GIRSU, para la toma de decisiones sobre los fondos limitados disponibles, la mejora de los servicios y cambios a lo largo del tiempo [8]. Para el uso de indicadores como una herramienta que ayude a la administración pública y a los gobiernos locales a tener diagnósticos de su GIRSU, se han propuesto metodologías o compilatorios que sirven como guías en el cálculo de éstos, una de éstas es el “*Sistema de Indicadores para la Evaluación Integral y Control de la Gestión de Residuos Municipales*” reportado por Turcott Cervantes [9], el cual contempla una selección de 97 indicadores de 377 compilados, agrupados en cuatro Aspectos o Atributos: 38 indicadores Técnicos y de Salud Pública, 31 indicadores Sociales, 12 indicadores Ambientales y 11 indicadores Económicos; este sistema ha sido aplicado a varias comunidades en diferentes países, incluidas dos municipalidades mexicanas.

La responsabilidad de llevar a cabo una correcta GIRSU, en la mayoría de los países del mundo, recae sobre las autoridades locales [10]; como es el caso de México, donde esta responsabilidad es de los municipios. En este contexto, en el ámbito legal mexicano, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) en su artículo 115 fracción III, inciso c, establece que “*Los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes: Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos*” [11], en coordinación con lo anterior, en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) en su artículo 10 especifica que los municipios tienen a su cargo las funciones del Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos (MIRSU), parte técnica de la GIRSU, que comprenden la recolección, el traslado, el tratamiento y la disposición final [12].

Con lo anterior, los gobiernos buscan compaginar sus objetivos con los de la Agenda 2030, tal es el caso del Plan de Desarrollo 2017-2023 del Estado de México, en donde la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México con base a un análisis geográfico, sociodemográfico y ambiental de los municipios estableció Regiones Ambientales (RA), las cuales tienen como propósito la unión municipal, para realizar un esfuerzo conjunto en el soporte de servicios ambientales para el desarrollo de las actividades humanas, en las que se incluye el MIRSU [13]. Si bien se han llevado a cabo esfuerzos para mejorar la GIRSU, se desconocen los avances y logros, por lo que este trabajo pretende comparar las GIRSU de cuatro municipalidades del sureste del Estado de México mediante el uso de indicadores socioeconómicos y sus Índices de Desarrollo Humano (IDH), con el fin de identificar áreas de oportunidad para su mejora.

2. Metodología

2.1 Selección del Área de Estudio

Derivado del proyecto 263615 CONACYT-SEMARNAT “*Ubicación de Rellenos Sanitarios Intermunicipales Futuros en el Estado de México y Estados Aledaños*” y con base en el “*Decreto del Ejecutivo del Estado por el que se establecen las Regiones ambientales*” (RA) [13], se seleccionaron las RA que presentaron el mayor número de municipios limítrofes, de los 12 ubicados en la Zona Sureste del Estado de México y se estimó la distancia de recorrido del centro de investigación a las cabeceras municipales, eligiendo la RA con menores distancias. Sumado a esto, se realizó investigación documental

sobre su IDH [14], se ordenaron los municipios en forma decreciente y se estimó su media para dividirlos en dos grupos.. De estos grupos se seleccionaron dos parejas, donde los municipios compartieran límites territoriales [15].

2.2 Selección de los indicadores socioeconómicos.

Tomando como base el trabajo de Turcott [9], se eligieron entre los indicadores pertenecientes a los Aspectos Sociales y Económicos, los que se listan en la Tabla 9; se examinaron las fichas metodológicas de estos indicadores y se adecuaron conforme a la GIRSU de los cuatro municipios seleccionados. Los Aspectos Sociales se dividieron en las Categorías: Administración Pública y Organizacionales.

Tabla 9. Indicadores socioeconómicos de la GIRSU

	INDICADOR	DESEMPEÑO BUENO	DESEMPEÑO REGULAR	DESEMPEÑO DEFICIENTE
		B	R	D
ADMINISTRACIÓN PÚBLICA (SOCIALES)	Existencia de Legislación	Existe Legislación especializada en GIRSU a nivel Municipal	Existe Legislación especializada en GIRSU a nivel Estatal o Federal	No existe Legislación especializada en GIRSU
	Cumplimiento de la Legislación	Todas las leyes o reglamentos fueron evaluados con SI	Ninguna ley o reglamento fue evaluado con NO y uno o más fueron evaluados con PARCIALMENTE	Uno o más leyes o reglamentos fueron evaluado con NO
	Registro de sanciones y avisos	Se cumple con dos o tres especificaciones: - Etapa del Manejo/Gestión donde se realiza la sanción/aviso - Gravedad de la sanción - Fecha de inicio y conclusión de caso	Se cumple con al menos una especificación: - Etapa del Manejo/Gestión donde se realiza la sanción/aviso - Gravedad de la sanción - Fecha de inicio y conclusión de caso	No se cumple con ninguna especificación: - Etapa del Manejo/Gestión donde se realiza la sanción/aviso - Gravedad de la sanción - Fecha de inicio y conclusión de caso
	Planeamiento para la Gestión de residuos	Existe al menos un Plan Marco en GIRSU a nivel Municipal	Existe al menos un Plan Marco en GIRSU a nivel Estatal o Federal	No existe al menos un Plan Marco en GIRSU
	Cumplimiento de Planes y Políticas	Todos los planes y/o políticas fueron evaluados con SI	Ningún plan y/o política fue evaluado con NO y uno o más fueron evaluados con PARCIALMENTE	Uno o más planes y/o políticas fue evaluado con NO
	Diagnóstico sobre la Gestión de Residuos	Si hay por lo menos un diagnostico / estudio realizado hace menos de 10 años	Hay por lo menos un diagnostico / estudio parcial realizado hace menos de 10 años	No se sabe o no hay por lo menos un diagnostico / estudio realizado hace menos de 10 años
	Disponibilidad pública de la información	SI	PARCIALMENTE	NO

Tabla 10. Indicadores socioeconómicos de la GIRSU (continuación)

	INDICADOR	DESEMPEÑO BUENO	DESEMPEÑO REGULAR	DESEMPEÑO DEFICIENTE
		B	R	D
ORGANIZACIONALES (SOCIALES)	Coordinador del servicio	Existe una coordinación central que planea, realiza, financia y tenga claridad de lo que sabe hacer. Puede existir, aunque no ejecute directamente todas las funciones en los servicios de la GIRSU	No existe una coordinación central, pero cada responsabilidad de los servicios de la GIRSU está asignada a alguna entidad	Existe dificultad para identificar la entidad responsable de cada actividad en los servicios de la GIRSU
	Asignación de funciones y responsabilidades	Existe un organigrama o documentos similares detallados donde se indiquen las cadenas de mando y las responsabilidades específicas del puesto, sin duplicas.	Existe un organigrama o documentos similares donde se indiquen las cadenas de mando o las responsabilidades específicas del puesto, sin duplicas.	No existe un organigrama o documentos similares detallado donde se indiquen las cadenas de mando y las responsabilidades específicas del puesto, sin duplicas.
	Perfil de personal en puestos clave (%)	≥ 80.0	60 ≤ a < 80.0	< 60.0
	Aspectos relacionados a	SI	PARCIALMENTE	NO

	<i>Seguridad e Higiene</i>			
	<i>Inclusión del sector informal</i>	SI	PARCIALMENTE	NO
ECONÓMICOS	<i>Presupuesto para la Gestión de Residuos</i>	SI (Se puede considerar un presupuesto específico si se cubren gastos de la GIRSU, aunque no haya un presupuesto específico para la GIRSU)	-----	No hay un presupuesto específico para la GIRSU y no se cubren gastos de la GIRSU
	<i>Presupuesto en proyectos I+D+i Per cápita (USD / hab)</i>	≥ 0.5	$0.0 < a < 0.5$	0.0 (No existe inversión en I+D+i)
	<i>Existencia de tarifa específica</i>	SI	PARCIALMENTE	NO
	<i>Tarifa promedio por tonelada en disposición final (%)</i>	≥ 10.0 pero ≤ 15.0 del total de la Tarifa	≥ 5.0 pero < 10.0 del total de la Tarifa	< 5.0 del total de la Tarifa
	<i>Tarifa promedio por tonelada en todas las demás etapas (%)</i>	≥ 15.0 del total de la Tarifa	≥ 5.0 pero < 15.0 del total de la Tarifa	< 5.0 del total de la Tarifa
	<i>Capacidad de pago de los usuarios (%)</i>	≤ 1.0 (Tarifa media total por t / Ingreso medio anual precipita)	----	< 1
	<i>Gastos en Educación ambiental y Concientización</i>	≥ 5.0	$< 5.0 - \geq 0$	0

I+D+i, Inversión, Desarrollo e investigación; USD, Dólar estadounidense; GIRSU, Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

2.3 Acopio de información

Se llevó a cabo una investigación documental, revisando documentos como: la LGPGIR [12], el Código de la Biodiversidad del Estado de México [16], los Bandos municipales vigentes de los municipios seleccionados [17] y la información aplicable en materia de GIRSU del portal de Información Pública de Oficio Mexiquense [18].

Se modificó la Cédula de Entrevista (CE) desarrollada por el equipo de investigación del proyecto 263315, con base a la Guía para la Elaboración de Programas Municipales para la GIRSU de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en colaboración con la Agenda de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) [19] y se agregaron apartados para unificarse con las fichas metodológicas reportadas por Turcott -Cervantes [9]. Para su aplicación se gestionaron visitas presenciales con los servidores públicos encargados de la GIRSU de los municipios seleccionados, para recopilar información de primera fuente.

2.4 Valoración y comparación de indicadores

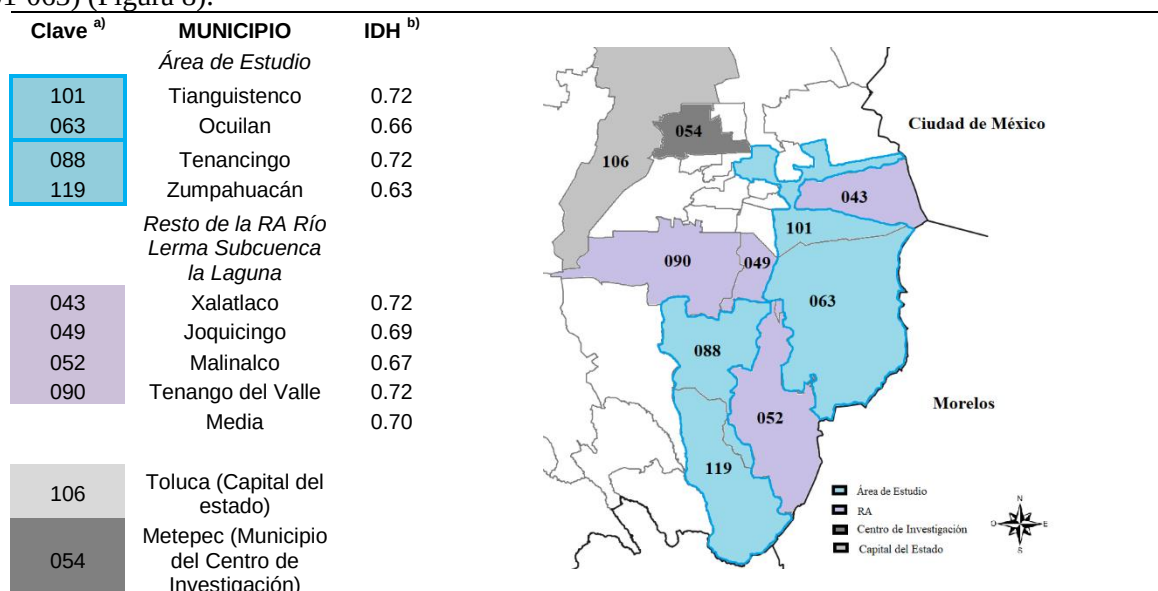
La información obtenida se capturó en el Software Microsoft Excel (2019), evaluándose los indicadores cualitativos y estimándose los cuantitativos. La valoración de cada indicador se comparó con los límites que se presentan en la Tabla 9, expresados en la modalidad de semáforo, donde el color verde significa un Desempeño Bueno, el color amarillo un Desempeño Regular y el color rojo un Desempeño Deficiente. Finalmente, se analizaron cada una de las parejas de los municipios seleccionados, tomando en cuenta su IDH [14] y su Población Total [15].

3. Resultados

3.1 Selección del Área de Estudio

De los 12 municipios de la zona Sureste del Estado de México, cuatro pertenecen a la RA “Sur” y cuatro a la RA “Río Lerma Subcuenca La Laguna”, estos últimos presentaron la menor distancia al centro de

investigación. De los ocho municipios pertenecientes a la RA “Río Lerma Subcuenca La Laguna” (Joquicingo, Malinalco, Ocuilan, Tenancingo, Tenango del Valle, Tianguistenco, Xalatlaco y Zumpahuacán); tomando como criterio su colindancia y su IDH, se seleccionó el Área de Estudio, conformada por las duplas de municipios: Tenancingo-Zumpahuacán (088-119) y Tianguistenco-Ocuilan (101-063) (Figura 8).



Fuentes: ^{a)}[15], ^{b)}[14]

Figura 8. Área de Estudio de la Región Ambiental “Río Lerma Subcuenca La Laguna”,

212

3.2 Valoración y comparación de indicadores

De acuerdo con la valoración de los aspectos socioeconómicos, tres de los cuatro municipios (Tianguistenco, Ocuilan y Zumpahuacán) tuvieron mayormente indicadores con Desempeño Deficiente y solo Tenancingo mostró un Desempeño Regular. Analizando las parejas Tenancingo-Zumpahuacán y Tianguistenco-Ocuilan, los municipios con un IDH más alto presentaron un mayor número de indicadores con desempeño regular y bueno. En cuanto a la población total, comparando a Tenancingo vs Tianguistenco y Ocuilan vs Zumpahuacán, los municipios con menor número de habitantes mostraron una ligera ventaja en su desempeño bueno (Tabla 11).

Tabla 11. Valoración de Indicadores

	INDICADORES / MUNICIPIO (CVEMUN)	TIANGUISTENCO (101)	OCUILAN (063)	TENANCINGO (088)	ZUMPAHUACÁN (119)	TOTAL				
	IDH	0.72	0.66	0.72	0.63					
	Población Total (hab)	77147	34485	97891	16927					
ADMINISTRACIÓN PÚBLICA (SOCIALES)	Existencia de Legislación					1	3	0	0	0
	Cumplimiento de la Legislación					0	0	4	0	0
	Registro de sanciones y avisos					0	1	3	0	0
	Planeamiento para la gestión de residuos					1	3	0	0	0
	Cumplimiento de planes y políticas					0	0	4	0	0
	Diagnóstico sobre la gestión de residuos					3	0	1	0	0
	Disponibilidad pública de la información					0	4	0	0	0
	Subtotales B R D NA IND	3 1 3 0 0	0 3 4 0 0	1 4 2 0 0	1 3 3 0 0	5	11	12	0	0

CVEMUN, Clave municipal [15]; IND, Información No disponible; NA, No aplica, USD, Dólares Americanos.

En la Categoría “Organizacionales” de los Aspectos Sociales, los dos primeros indicadores tuvieron desempeño regular, pues si bien los puestos y las actividades estratégicas para la GIRSU están definidas en los organigramas de las dependencias municipales [18], no hay una clara definición de las actividades y responsabilidades que tienen cada uno de los elementos; y aunque las personas tienen toda la disponibilidad para apoyar, lo anterior contribuye a que el indicador *Perfil de personal en puestos claves* presentase un desempeño deficiente en tres de los cuatro municipios estudiados, denotando falta de dirección y liderazgo por parte de los responsables de la GIRSU. El indicador *Aspecto relacionados a seguridad e higiene*, que comprenden el bienestar individual y grupal de las personas, en cuanto a salud física, mental y emocional; desafortunadamente fue evaluado con un desempeño deficiente en las cuatro municipalidades, debido a que se carece de condiciones básicas para salvaguardar la integridad de las personas. En cuanto al indicador *Inclusión del sector informal*, el desempeño fue deficiente en las municipalidades de Tianguistenco, Tenancingo y Zumpahuacán, ya que, aunque existen personas que laboran de manera informal, se carece de programas formales para su inclusión, pues no se reconoce la importancia de su trabajo y su condición de vulnerabilidad. Por su parte el municipio de Ocuilán se evaluó como No aplica (NA), debido a que las autoridades entrevistadas reportaron que actualmente no existe sector informal y carecen de información sobre su inclusión o desaparición en administraciones anteriores (Tabla 11).

Para los Aspectos Económicos, de acuerdo a la información proporcionada por los entrevistados en cada municipio, sí se destina presupuesto para las labores de la GIRSU, de ahí que sus evaluaciones fueron buenas, sin embargo, solo Tenancingo reportó la cantidad destinada para proyectos de Inversión, Desarrollo e Investigación (I+D+i), obteniendo un valor de 1.873 USD/hab. En cuanto a tarifas, al no tener una establecida en las municipalidades por ofrecer el servicio de GIRSU, los indicadores *Tarifa promedio por tonelada* y *Capacidad de pago de los usuarios*, no pudieron ser estimados, aunado a esto,

todos los responsables de la GIRSU de las municipalidades expresaron no tener acceso a la contabilidad detallada de su dependencia, debido a que otros departamentos llevan el control de las finanzas públicas, por lo que tampoco fue posible estimar el indicador *Gastos en educación ambiental y concientización*; sin embargo, reconocen que tienen gastos y que son cubiertos de manera parcial (Tabla 11).

El uso de indicadores socioeconómicos ayuda a la complementación de estudios técnicos de la GIRSU [20]; además sirven como concentradores de información en estudios sociales relacionados a la estructura organizacional [21], gestión pública [10], [22], redes de comunicación [23] y perfiles sociales de las personas, también pueden dar datos puntuales respecto al manejo de las finanzas en la GIRSU [24]; no obstante la metodología propuesta en esta investigación debe ser adecuada en cada región, de acuerdo al contexto de las municipalidades, a nivel local, en los 125 municipios del Estado de México, ésta es aplicable y puede ser ocupada para hacer estudios más amplios en las diferentes Regiones Ambientales.

4. Conclusiones

En México, las municipalidades no siempre cumplen con la legislación, los planes y las políticas enfocados a la GIRSU, tal es el caso de los municipios estudiados, donde la comunicación asertiva es regular; evidenciándose áreas de oportunidad que impactan directamente en el desempeño obtenido en los indicadores Sociales de la Categoría Administración Pública.

La valoración de los indicadores Sociales de la Categoría Organizaciones, indica una dirección inadecuada por parte de los responsables de la GIRSU en los municipios analizados, reflejada en la carencia de atención a las necesidades básicas de los colaboradores y la inclusión del sector informal.

Los indicadores Económicos tuvieron desempeños deficientes debido a que el desconocimiento del presupuesto asignado y la falta de control en las finanzas de la GIRSU, imposibilita a los responsables a atender las áreas prioritarias para fortalecer su labor; mientras que la carencia de tarifas limita la estimación de tres indicadores y la detección de aportaciones por parte de la ciudadanía.

Los indicadores socioeconómicos valorados permitieron identificar áreas de oportunidad en el factor humano en las cuatro municipalidades estudiadas del sureste del Estado de México, además de determinar que el mayor número de indicadores con desempeño bueno y regular se presentó en los municipios de Tianguistenco y Tenancingo, los cuales tienen IDH mayores en comparación a Ocuilán y Zumpahuacán.

Con base en las áreas de oportunidad detectadas en los municipios que aborda este trabajo, se recomienda que las autoridades encargadas de la GIRSU se den a la tarea de actualizarse de manera continua en cuanto a Legislación en todos sus niveles, en métodos y tecnologías sobre el MIRSU, en Desarrollo Humano y Liderazgo; aunado a lo anterior, las municipalidades deben conjuntar los esfuerzos de los grupos que intervienen en la GIRSU para la mejora de las condiciones que presentan los colaboradores y la inclusión del sector informal, además de impulsar la cooperación intra e intermunicipal.

Agradecimientos

Se agradece a las autoridades de los municipios por su disposición durante las entrevistas, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para estudios de posgrado y al Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACyT 2015 por el financiamiento del proyecto 263315.

Referencias

- [1] Hawksorth, J., Audino, H., & Clarry, R. (2017). The Long View: How will the global economic order change by 2050? *Price Waterhouse and Coopers: Vol. February* En Línea <<https://www.pwc.com/gx/en/issues/economy/the-world-in-2050.html#data%0Awww.pwc.com>>. Recuperado el 01/04/2020
- [2] Tsydenova, N., Vázquez Morillas, A., & Salas Cruz, A. A. (2018). “Sustainability Assessment of Waste Management System for Mexico City (Mexico)—Based on Analytic Hierarchy Process”. *Recycling*. Vol. 3(45), 1-18. Doi: 10.3390/recycling3030045
- [3] ONU, Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (2015), Organización de las Naciones Unidas (ONU) <En línea> https://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ares70d1_es.pdf. Recuperado el 01/04/2020
- [4] WCED, (1988). The Brundtland report: ‘Our common future’, (Oxford University Press (ed.); Vol. 4, Número 1. En línea < <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> >. Recuperado el 18/04/2020
- [5] Armijo, M. (2011). Planificación estratégica e indicadores de desempeño en el sector público. Organización de las Naciones Unidas (ONU), Santiago de Chile, Chile. En línea <https://www.cepal.org/ilpes/publicaciones/xml/8/44008/SM_69_MA.pdf>. Recuperado el 18/04/20
- [6] Linster, M. (2003). OECD Environmental Indicators: development, measurement and use. Organisation for Economic Co-Operation and Development, 0, 37. En Línea <https://www.cepal.org/ilpes/publicaciones/xml/8/44008/SM_69_MA.pdf>. Recuperado el 27/04/2020.
- [7] Rametsteiner, E., Pülzl, H., Alkan-Olsson, J., & Frederiksen, P. (2011). “Sustainability indicator development-science or political negotiation?”. *Ecological Indicators*. Vol. 11(1), 61–70. Doi: 10.1016/j.ecolind.2009.06.009
- [8] Wilson, D. C., Rodic, L., Cowing, M. J., Velis, C. A., Whiteman, A. D., Scheinberg, A., Vilches, R., Masterson, D., Stretz, J., & Oelz, B. (2014). “Wasteaware” benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities. *Waste Management*. Vol. 35, 329–342. Doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.006.
- [9] Turcott Cervantes, D. E. (2018). Sistema de Indicadores para la Evaluación Integral y Control de la Gestión de Residuos Municipales. Universidad de Cantabria. Santander, España. En línea <<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/15418>>. Recuperado el 05/02/2020
- [10] Gran Castro, J. A., & Bernache Pérez, G. (2016). Gestión de residuos sólidos urbanos, capacidades del gobierno municipal y derechos ambientales. *Sociedad y Ambiente* . Vol. 1(9), 73–101. Doi: 10.31840/sya.v0i9.1634
- [11] DOF (2020). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación. Última reforma: 06/03/2020.
- [12] DOF (2018). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación. Última reforma: 19/01/2018.
- [13] G.G. (2018). Decreto del Ejecutivo del Estado por el que se establecen las Regiones Ambientales del Estado de México. Gaceta de Gobierno (G.G.). Vol CCVI, núm.68.
- [14] PNUD (2019). Transformando Mexico desde lo local Informe de Desarrollo Humano Municipal. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, México. En línea < <https://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/library/poverty/informe-de-desarrollo-humano-municipal-2010-2015--transformando-.html>>. Recuperado el 05/02/2020

- [15] INEGI (2016). Panorama sociodemográfico de Estado de México 2015. Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). México. En línea <http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/inter_censal/panorama/702825082246.pdf>. Recuperado el 10/02/2020
- [16] G.G. (2019). Código de la Biodiversidad del Estado de México. Gaceta de Gobierno (G.G.). Última reforma: 26/12/2019.
- [17] DLPO. (2020). Bandos Municipales. Dirección de Legalización y del Periódico Oficial “Gaceta de Gobierno” (DLPO). Gobierno del Estado de México. En línea <https://legislacion.edomex.gob.mx/bandos_municipales2020>. Recuperado el 03/05/2020
- [18] IPOMEX (2020). Ayuntamientos. Información Pública de Oficio Mexiquense (IPOMEX) En línea <<https://www.ipomex.org.mx/portal.htm#>>. Recuperado el 05/05/2020
- [19] Wehenpohl, G., & Hernández-Barrios, C. P. (2006). Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos, (SEMARNAT & GTZ (eds.)).
- [20] Olay-Romero, E., Turcott-Cervantes, D. E., Hernández-Berriel Ma. del C., Lobo-García de Cortázar, A., Cuartas-Hernández, M. & de la Rosa-Gómez, I. (2020). “Technical indicators to improve municipal solid waste management in developing countries: A case in Mexico”. *Waste Management*. Vol. 107, 201–210. doi: 10.1016/j.wasman.2020.03.039.
- [21] Venegas Sahagún, B. A., García Bátiz, M. L. & Sánchez Bernal, A. (2014). “Gestión de Residuos Sólidos Municipales en México. Un análisis comparativo”. *Gestión Ambiental*. Vol. 28, 25–47. En línea <https://www.researchgate.net/publication/308516226_Gestion_de_residuos_solidos_municipales_en_Mexico_Un_analisis_comparativo>.
- [22] Buenrostro, O. & Bocco, G. (2003). “Solid waste management in municipalities in Mexico: Goals and perspectives”. *Resources, conservation and recycling*. Vol. 39(3), 251–263. doi: 10.1016/S0921-3449(03)00031-4.
- [23] Núñez-Espinoza, J. F. (2016). “Patrones de organización social en la gestión de residuos sólidos urbanos en el continuo regional Distrito Federal-Estado de México”. *Región y Sociedad*. Vol. 28(65). doi: 10.22198/rys.2016.65.a361.
- [24] Boguslavskaya, S. & Rozhdestvenskaya, N. (2015). “Calculation of Social Return on Investment (SROI) Ratio of a Local Ecological Initiative”. *J. Financ. Risk Perspect.* Vol. 4(3), 102–134. ACRN Oxford. [En línea]. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=108642443&site=ehost-live&authtype=ip,uid>.

El camino a la gestión integral de residuos. La Unidad Municipal de Composteo en Etzatlán, Jalisco

¹Bernache Pérez Gerardo, ²Mtro. Felipe Mora Reguera

¹ Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS), Unidad Occidente
Prolongación Dr. Ángel Leaño #1595. El Tigre. Zapopan, Jalisco. Teléfono 33 27 33 39 00 ext 106 bernache@ciesas.edu.mx

² Consorcio de Investigación y Diálogo sobre Gobierno Local (CIDIGLO), CIESAS Unidad Occidente.

Resumen

En el presente texto se describe los resultados de un proyecto interdisciplinario de intervención, enfocado en la mejora de la gestión de los residuos sólidos urbanos en Etzatlán, Jalisco. A través de la planeación estratégica y participativa, se identificaron las áreas de oportunidad, los retos principales, y se formalizaron acciones para impulsar la valorización paulatina en etapas a corto, mediano y largo plazo. Con una metodología mixta se realizaron actividades en cuatro temas relacionados con la gestión de residuos: un diagnóstico actualizado de los montos y tipos de residuos; el análisis de las rutas de recolección para implementar una primera fase de un programa de recolección separada de la fracción orgánica; una evaluación de las prácticas de manejo del sitio de disposición final y recomendaciones para mejora; y el diseño y puesta en marcha de una planta de composteo. La producción de residuos per cápita es de 922 gramos diarios y los dos materiales con mayor presencia son los orgánicos (48%) y los plásticos (16%). Se empezó con una primera ruta, de las cinco que operan en el municipio, para hacer una recolección separada de orgánicos. Se instaló la Unidad Municipal de Composteo, se capacitó a personal y empezó operaciones procesando una tonelada semanal para el mes de noviembre 2019. Finalmente se hizo una evaluación del sitio de disposición final que opera fuera de norma, por lo que se hicieron recomendaciones para mejores prácticas en su manejo.

Palabras Clave: *disposición final de residuos, recolección separada, residuos sólidos urbanos, valorización de orgánicos*

1. Introducción

Con base en experiencias previas [1] [2] se puede afirmar que, de manera general, los municipios pequeños y medianos de Jalisco experimentan problemáticas similares en términos de su gestión de residuos sólidos. Por un lado, existen carencias en diferentes niveles y ámbitos, y por otro, existe un gran reto para proveer el servicio municipal de recolección y en el control de los impactos ambientales ocasionados por la disposición inadecuada y la poca valorización de RSU. En la siguiente tabla se muestran las carencias y problemas, respecto al manejo de RSU, que comparten los ayuntamientos en Jalisco.

Tabla 1. *Carencias y excesos en el manejo de residuos*

LO QUE FALTA	LO QUE SOBRA
Sustento profesional en el manejo de residuos	Improvisación y perfiles diversos
Registros y bases de datos	Estimaciones al tanteo y comunicación verbal
Disposición en Rellenos	Tiraderos clandestinos
Buenas prácticas de disposición final de RSU	Incendios, lixiviados y fauna nociva
Separación	Recolección mezclada
Reciclaje y valorización	Entierro de materiales valorizables
Composteo	Contribución de emisiones de GEI
Educación y cultura ambiental	Simulación y tirar basura de forma inadecuada
Participación	Quejas
Presupuesto operativo	Vehículos en malas condiciones

Son pocos los ayuntamientos que tienen publicados todas las normas y los instrumentos de gestión requeridos para una gestión sustentable de los RSU, tales como son los reglamentos de ecología, programas municipales de gestión de RSU, programas de educación ambiental, y otros. Sin embargo, aún en el caso de que cuenten con dichos instrumentos hay poca posibilidad de cumplirlos, debido a que no siempre pueden abordarse de manera integral, para articular las dimensiones económica, técnica y socioambiental.

Un primer desafío para el manejo eficiente de los RSU es la cobertura del servicio de recolección, misma que refleja el grado en que el servicio de Aseo Público atiende a toda la población municipal. A nivel nacional el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos [3] señala que, en promedio, la mejor cobertura se tiene en los municipios con población mayor a 100 mil habitantes con un 87% de la población que recibe el servicio de recolección, mientras que los municipios con menos de 10 mil habitantes tienen una cobertura promedio del 59% de su población. En el caso de estudio, Etzatlán, la cobertura del servicio de recolección alcanza un 98%, lo cual refleja la atención y calidad del servicio de Aseo Público.

El municipio de Etzatlán cuenta con una población de 19,847 habitantes de acuerdo a datos censales del 2015 y un total de 3,999 hogares [4]. En la cabecera residen 13,513 habitantes y el resto de la población se encuentra dispersa en alrededor de 37 localidades. Entre las principales localidades destacan Oconahua con 2,275 habitantes, Santa Rosalía con 1,193 residentes, La Mazata con 757 y Palo Verde con 167.

Este proyecto empezó en mayo de 2019 y concluyó en marzo de 2020, se enfocó a impulsar una gestión integral de residuos en la cabecera municipal de Etzatlán. La propuesta surge del interés del Ayuntamiento en impulsar un programa que atendiera los problemas de manejo de RSU, para proponer mejoras en el servicio de Aseo Público, para propiciar el aprovechamiento de residuos, así como propiciar la participación ciudadana y la cultura ambiental. El objetivo del proyecto fue trabajar para sentar las bases de la gestión integral de RSU y empezar con acciones específicas para el aprovechamiento de la fracción orgánica.

Es importante señalar que el ayuntamiento tuvo un compromiso firme para realizar el proyecto, empezando con el Presidente Municipal y seguido por los titulares de Servicios Públicos Municipales, Aseo Público, Ecología y Medio Ambiente. Todos los funcionarios de las dependencias responsables del manejo de residuos se involucraron de manera directa, estuvieron comprometidos y dieron todas las facilidades para impulsar este proyecto de gestión integral de los RSU.

A partir de una negociación con el Presidente Municipal, se firmó un Convenio General de Colaboración entre un Consorcio de Centros Públicos de Investigación y el ayuntamiento. A partir de ahí, se conformó un equipo para coordinar una primera etapa de intervención de 12 meses, en el equipo participaron investigadores asociados al Consorcio de Investigación y Diálogo sobre Gobierno Local (CIDIGLO), así como personal del ayuntamiento de nivel directivo del Departamento de Aseo Público, la Dirección de Ecología y Medio Ambiente, y la Unidad de Planeación y Gestión Estratégica Municipal (UPGEM). Este equipo de coordinación acordó e implementó una metodología de planeación estratégica, dividida en 4 componentes generales: 1) mejores prácticas en el manejo de los residuos; 2) planeación participativa y programa de educación ambiental; 3) poner en marcha una Unidad de Compostaje Municipal; y 4) el diseño y elaboración del Programa Municipal de Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos de Etzatlán 2018-2021.

El propósito de este texto es presentar las actividades realizadas y los logros que se tuvieron en el proyecto, como son: el diagnóstico municipal de residuos, la recolección separada de la fracción orgánica, la puesta en marcha de la Unidad Municipal de Composteo y las recomendaciones para mejores prácticas en el sitio de disposición final.

2. Marco Teórico

De acuerdo con Bermejo [5], el desarrollo sostenible que fue propuesto originalmente por el Informe Brundtland se define como “el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. El concepto incluye tres componentes centrales: el económico, el social y el ambiental. Un desarrollo económico con bienestar, con justicia social y con un cuidado de los recursos naturales y los ecosistemas [5] [6]. El uso racional de los recursos “disponibles implica orden y límites que deben establecerse a la organización social actual” [7].

El desarrollo sostenible propone por una parte el uso más moderado de los recursos naturales minimizando o reduciendo la extracción de materias primas vírgenes, así como evitar el desperdicio de los recursos y prolongar su vida útil a través del reuso y del reciclaje [8]. Por otra parte, es importante evitar la contaminación o el daño de las fuentes de recursos materiales y de los ecosistemas.

En lo que se refiere a los residuos sólidos urbanos, el desarrollo sostenible se orienta por dos propuestas básicas: cuidar los recursos naturales y evitar la contaminación o degradación de los recursos y ecosistemas [8] [9].

La Ley General para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos (LGPGIRS) establece una relación directa entre la gestión integral de residuos y el desarrollo sustentable en su Artículo 1. donde refiere que el propósito de la ley es “propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación” [9]

Mientras que el Art. 2 se refiere de forma explícita a las políticas públicas para la gestión integral de residuos que implican la prevención y minimización en la generación de residuos, la valorización y aprovechamiento de los materiales, así como las acciones articuladas para la gestión integral de los residuos sólidos [9]. Todo lo anterior con el fin de alinearse a los postulados del desarrollo sustentable a nivel nacional, con una producción limpia, con la disposición segura de los residuos no aprovechables, con la remediación de sitios de disposición final contaminados y con una responsabilidad compartida entre autoridades, sector privado y sociedad civil.

3. Metodología

El equipo de investigación del CIDIGLO estuvo conformado por cinco investigadores, tres asociados y un asistente. Entre los que se encuentran especialistas en ingeniería ambiental, ingeniería química, administración del ambiente y antropología social. El equipo interdisciplinario inició el trabajo con una prospección en campo para construir un acuerdo de colaboración con el municipio, tomando en cuenta el interés y la iniciativa de mejorar la gestión de los RSU por parte del ayuntamiento y la ciudadanía.

Este fue un proyecto de investigación e incidencia, porque buscaba realizar un diagnóstico de una situación (el problema de la basura en Etzatlán) y proponer acciones para mejorar la gestión en una lógica de desarrollo sustentable y valorización de residuos, como prioridades. Entonces, la primera actividad de investigación fue realizar una actualización del diagnóstico municipal de la generación de residuos sólidos urbanos y su perfil de composición material.

La planeación participativa inició con el mapeo de actores, y posteriormente se utilizó una metodología cualitativa con entrevistas, grupos focales, encuestas y dos etnografías enfocadas en el manejo de los residuos sólidos.

La encuesta se aplicó a una muestra de residentes de la colonia Los Colonos para conocer su opinión sobre la recolección separada de residuos, sus conocimientos sobre el manejo de los residuos y su disposición al cambio.

Las entrevistas se realizaron con los funcionarios responsables del Departamento de Aseo Público, la Dirección de Ecología y Medio Ambiente, la Unidad de Planeación y Gestión Estratégica Municipal, con el responsable de las cuadrillas de barrido, así como con una decena de Directores de escuelas de primaria, secundaria y preparatoria. También se realizaron entrevistas a los propietarios de cuatro Centros de Acopio de materiales para el reciclaje.

Los grupos focales se realizaron con el personal de Aseo Público, con el Grupo Promotor Local (voluntarios), con los trabajadores que integran las Cuadrillas de Barrido y con un grupo de funcionarios municipales involucrados en el proyecto.

El Grupo Promotor Local se conforma de unos 25 voluntarios interesados en promover acciones para el cuidado y protección del medio ambiente en el municipio. El grupo se compone de personas adultas con edades desde unos 25 a los 70 años, ellos se organizan para realizar acciones en apoyo al ayuntamiento en temas ambientales, entre ellos el tema de la gestión sustentable de los residuos. Este Grupo también participó en actividades la campaña de educación ambiental, la comunicación y sensibilización a la recolección separada de los residuos orgánicos en la zona de Los Colonos.

4. Desarrollo

4.1 Diagnóstico de generación de residuos sólidos urbanos

Para el diagnóstico de producción, montos y perfil de composición, se retomó un estudio previo realizado por el Departamento de Aseo Público en el año 2016. Se revisó y se actualizaron los datos a partir de la información y datos obtenidos por el mismo municipio durante el primer semestre de 2019. Los resultados indican que la producción municipal de 19.4 toneladas diarias, dando una producción promedio per cápita de 922 gramos de RSU por día.

El perfil de composición material de los RSU en Etzatlán se presenta en la Tabla 2, a continuación.

Tabla 2. Perfil de composición material de los residuos

Tipo de residuo	Porcentaje del total
Orgánicos de cocina y jardín	48%
Plásticos	16%
Sanitarios (incluye pañales)	15%
Otros	9%
Cartón y papel	6%
Vidrio	6%
TOTAL	100%

Los principales tipos de residuos en el perfil de composición son: los orgánicos con 48%, los residuos plásticos con 16% y los residuos sanitarios con 15%. Estos datos apuntan a un incremento de los residuos plásticos que se posicionan como el segundo rubro más importante de los residuos urbanos, así como la presencia importante, en términos proporcionales, de los desechos sanitarios domésticos.

4.2 Las rutas de recolección

El Departamento de Aseo Público de Etzatlán cubre el servicio en el territorio municipal con seis rutas de recolección de RSU. Cuatro rutas se dedican a la recolección en la cabecera municipal, mientras que dos rutas dan servicio a otras cinco localidades. Algunas rutas, como las Delegaciones foráneas se cubren una vez por semana. Mientras que otras rutas como la Centro otorgan el servicio al menos una vez por día, en ocasiones llegan a realizar tres recorridos diarios en la misma ruta.

Las rutas de recolección se presentan a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Rutas de recolección de residuos

Ruta	Nombre de la ruta	Ubicación
1	Los Colonos	Cabecera Municipal
2	Oconahua – San Rafael	Delegación Foránea
3	Santa Rosalía, La Mazata y San Sebastián	Delegación Foránea
4	Centro	Cabecera Municipal
5	Centro, Fraccionamiento Magisterial	Cabecera Municipal
6	Garita y Panteón	Cabecera Municipal

El estudio de las rutas de recolección permitió realizar algunas observaciones y recomendaciones al Departamento de Aseo Público para lograr una mayor eficiencia en la operación de las rutas. Quizá el reto principal es la exigencia de los usuarios para que la recolección en la zona centro se realice varias veces por día y todos los días de la semana. Como en una ciudad chica, las personas y comerciantes tienen nexos familiares, de amistad o profesionales con el Presidente Municipal o con funcionarios de primer nivel, les llaman y les piden que envíen de nuevo al camión recolector porque tienen que disponer sus residuos en ciertas horas que no coinciden con las rutas.

En este punto quizá lo más importante para el equipo fue el diseño de la recolección diferenciada de la fracción orgánica. Se decidió recolectar la fracción orgánica de los residuos en una ruta de recolección para producir composta. Entonces, primero se trabajó en acondicionar el espacio de la Unidad Municipal de Composteo y dar capacitación al personal de aseo público que sería responsable de la planta y también de la operación de la ruta de recolección separada. En segundo lugar, se seleccionó la Ruta 1 de Los Colonos, para realizar la recolección separada de la fracción orgánica. Se programó empezar la recolección separada con la mitad de las viviendas que cubre la ruta. Un total de 309 familias residentes la zona de la Ruta 1 participaron en la recolección separada de lo orgánico. También se realizó una encuesta con los vecinos, en la que manifestaron estar dispuestos a participar en una recolección separada de residuos.

El equipo CIDIGLO con apoyo del Grupo Promotor Local, pusieron en marcha una campaña de educación ambiental con estas familias residente de los Colonos para capacitar y motivar la participación de los vecinos en la separación de la fracción orgánica y los días para su entrega.

La recolección separada dio comienzo el 28 de agosto 2019, se inició una prueba piloto de la ruta de recolección separada, con un volumen aproximado de 300 litros por día que se recolectó. Para el 09 de septiembre, se aumentaron el número de domicilios y se logró una participación semanal promedio del 44% de las casas de la ruta seleccionada.

En el mes de noviembre 2019 empezaron a participar varios establecimientos comerciales dedicados a frutas y verduras, como son: los locatarios del Mercado Municipal, La Nueva Frutería, Etzafrut, y Frutería Gigantera. La incorporación de estos comercios permitió incrementar la recolección de residuos orgánicos a una tonelada semanal.

4.3 El sitio de disposición final

El sitio de disposición final (SDF) es un vertedero controlado que se ubica en un predio de dos hectáreas y que ha estado en operación por 14 años. Actualmente el periodo de vida útil inicialmente contemplado para este sitio ha sido rebasado, el vertedero se encuentra saturado, pero es la única opción local para disposición final.

Al construirse el sitio de disposición final se instaló una geomembrana para contener los lixiviados, se perforaron pozos de ventilación del gas metano, se construyó una fosa para captar y tratar los lixiviados del sitio. Sin embargo, un par de años después de iniciar operaciones el sitio sufrió un fuerte incendio que ocasionó daños en la infraestructura del relleno sanitario (en particular la geomembrana y los pozos de ventilación). A partir de entonces se perdió control de la calidad de la operación y fue decayendo la operación y el cuidado del sitio. Actualmente el sitio incumple con la Norma 083 de SEMARNAT.

El SDF ubicado a un par de kilómetros de la cabecera municipal recibe los RSU del municipio de lunes a sábado. Sin embargo, durante temporada de lluvias también ha recibido de residuos del municipio de San Marcos, también ubicado en la Región Valles de Jalisco.

Un problema es la falta de control en el ingreso y disposición en el SDF. Se carece de registro de ingreso al sitio, los trabajadores de aseo público no están capacitados para una correcta operación del sitio y no se cuenta con un Manual de Operaciones. Una persona encargada del sitio se encuentra supervisando el ingreso y la disposición, pero no tiene una capacitación profesional, ni la autoridad para controlar al 100% los ingresos de particulares que llevan Residuos de Manejo Especial.

La superficie del SDF tiene una cobertura escasa e irregular de los residuos en el predio, tampoco se realiza un acomodo y compactación de los residuos ahí depositados, solo se acumulan en montones.

Para el 2019, en el vertedero trabajaban de forma regular un grupo de cinco pepenadores, ellos cuentan con la autorización informal de la persona encargada del sitio, de hecho, son sus familiares. La empleada municipal responsable de la supervisión y control del SDF participa de lleno en la labor de pepena.

Se observaron dos problemas graves en la operación del vertedero. En primer lugar, una fosa que se ubica en el perímetro del predio que se utiliza para disponer de animales muertos o restos de animales, así como desechos del Rastro Municipal. Es una fosa de dos metros por lado y una profundidad de unos cinco metros. Los restos se cubren con cal de manera regular. Sin embargo, un vertedero municipal como el de Etzatlán no debería recibir este tipo de residuos de manejo especial por los riesgos sanitarios que presentan. En segundo lugar, el sitio se ha convertido en un tiradero de miles de llantas automotrices que se depositan de manera irregular en el perímetro del SDF. La Región Valles donde se ubica el municipio se caracteriza por una alta producción de caña de azúcar, con un gran parque vehicular de carga pesada para transportar las cosechas al ingenio azucarero en Tala. La mayoría de las llantas depositadas en el vertedero de Etzatlán provienen de los camiones de carga que trabajan para transportar la caña. Se estima que el vertedero se acumulan unas 24,000 llantas. Recientemente se llevaron unos viajes a una cementera ubicada en el municipio de Zapotitlán para su incineración. Pero no ha sido suficiente y llegan más llantas cada semana. Esto constituye un reto para los funcionarios responsables.

La fauna nociva también tiene una presencia importante, desde aves carroñeras atraídas por los restos de animales en la fosa, la presencia de roedores y una jauría de perros.

Algunas recomendaciones que se entregaron al ayuntamiento para mejorar la operación del sitio incluyen las siguientes:

- Se deben identificar y localizar los pozos de ventilación de gas metano (CH₄) o biogás construidos en el sitio, con el objeto de rescatar su operación; o bien perforar nuevos pozos o chimeneas para evitar acumulaciones de gas que conlleven un riesgo de explosión o de incendio.

- Para asegurar que no existan derrames de lixiviados que escapen del sitio y afecten al suelo y aguas subterráneas del área, es preciso darle mantenimiento y operar adecuadamente la fosa de lixiviados.
- Respecto a los riesgos biológicos, se requiere mejorar la operación de la fosa donde se disponen los animales muertos para evitar la generación de vectores de riesgo sanitario.
- Control de fauna nociva en el sitio como son parvadas de zopilotes y jaurías de perros abandonados que comen de los residuos.
- Capacitación a los empleados de aseo público y en particular una capacitación para la adecuada operación diaria del sitio para la trabajadora del ayuntamiento que funge como responsable del SDF.

4.4 Poner en marcha una Unidad de Compostaje Municipal

A partir de la recolección separada de la fracción orgánica en la ruta Los Colonos, se desarrolló el proceso de compostaje a pequeña escala, a manera de una prueba piloto con unos 500 kilogramos semanales de RSU, además de un monto similar de residuos maderables que resultan de podas realizadas por el Departamento de Parques y Jardines.

Una de las primeras actividades fue ubicar un predio, propiedad del Ayuntamiento de Etzatlán, para establecer la Unidad Municipal de Composteo. Se prospectaron varios sitios cercanos a la cabecera municipal, entre otros sitios se identificó y se visitó un terreno adyacente a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Es un espacio abierto, con piso de tierra compactada. Se decidió, en conjunto con las autoridades municipales que este predio sería la mejor opción para instalar la Unidad Municipal de Composteo (UMC). También se acordó proceder con el método de “composteo tradicional en pilas o montones”. Los residuos recibidos en una semana se mezclarían con los maderables triturados para formar una pila. Cada semana se forma una nueva pila y se mantienen separadas para respetar el proceso de degradación.

Se elaboró un manual simple para orientar las actividades del personal de Aseo Público a cargo de la UMC. Se identificó a un grupo de trabajadores para capacitarlos en el manejo de los residuos y las pilas; entre otras actividades se les capacitó para el monitoreo de temperatura, el volteo de los residuos con palas, el control de la humedad en las pilas y la cobertura de las pilas con lonas en caso de lluvia.

Ya para el inicio de las actividades en la UMC a finales de agosto del 2019, el ayuntamiento designó a un trabajador como encargado del manejo de las pilas de composta con un horario de 7 a 13 horas. Este trabajador se hace cargo de recibir y acomodar las pilas de residuos que va recibiendo cada semana, facilitando y respetando el proceso de degradación de cada pila o montón.

Se acordó iniciar con pequeños montos de 500 kilogramos de residuos orgánicos por semana, para afianzar el aprendizaje del personal, tanto en lo que respecta a la recolección separada en la Ruta de Los Colonos, como al manejo adecuado de las pilas de orgánicos en proceso de composteo. Un responsable del equipo de investigación se encargó de la capacitación, así como de una supervisión semanal de las actividades durante el primer mes.

Para finales del mes de octubre 2019 se obtuvo el primer lote de 100 kilogramos de composta lista para usarse en jardines o campos de cultivo. Esa composta se empacó en costales de muestra para regalarlas a los residentes de la Ruta Los Colonos como muestra de su compromiso con el proyecto de separación y composteo que realiza el ayuntamiento de Etzatlán.

Para finales de 2019 aumentó la capacidad de procesamiento, ya que se recolectaba un monto mayor de residuos orgánicos, alcanzando el monto de una tonelada de residuos frescos por semana.

Para el 2020 el ayuntamiento tiene un proyecto ejecutivo para ampliar y consolidar la UMC, al tiempo que se concursará para obtener fondos estatales para la ampliación con la intención de lograr procesar al menos el 50% de la fracción orgánica de los RSU para 2022.

5. Discusión

El trabajo desarrollado en el municipio de Etzatlán, Jalisco es una iniciativa que involucra tanto la investigación como la incidencia en la gestión municipal y sus políticas públicas para el manejo de residuos sólidos. La intención del trabajo fue iniciar y desarrollar acciones que contribuyan de manera significativa a consolidar una gestión integral de los residuos sólidos urbanos municipales para contribuir a las políticas y programas de desarrollo sustentable a nivel local.

Dos elementos importantes apuntalaron el trabajo aquí presentado. El primero fue el programa de educación ambiental que se desarrolló como parte del proyecto integral. El programa se presenta en otra ponencia [10] por esa razón no se aborda aquí. El Programa de Educación Ambiental se impartió a diferentes grupos de población: siete cursos talleres dedicados a alumnos en escuelas de educación básica y media, así como a niños y jóvenes inscritos en los cursos de verano que ofrece el Ayuntamiento en sus instalaciones culturales y deportivas, también se incluyeron tres cursos de capacitación para actores clave. En total se impartieron 10 cursos – talleres, con una participación de 413 personas, entre ellos 355 niños y jóvenes, así como 58 adultos del Grupo Promotor Local y Funcionarios municipales.

El segundo elemento fue la presentación de ideas y la discusión de la estrategia general a corto, mediano y largo plazo para consolidar la gestión integral de residuos a nivel municipal. Esto se plasmó en un documento general que la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) requiere a los ayuntamientos: un Programa Municipal de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PMPGIRSU). Este programa fue elaborado y consensado en cuanto a las acciones contempladas, objetivos, metas y cronograma de trabajo. El PMPGIRSU de Etzatlán 2018-2021 [11] es un documento formal que ha sido aprobado por el Cabildo Municipal (abril 2020) y se ha presentado formalmente para su validación a la SEMADET.

Entonces el proyecto general integró actividades diversas del equipo de investigación interdisciplinario. Unos miembros del grupo se dedicaron a actualizar el diagnóstico y preparar a los trabajadores de Aseo Público y a los residentes de la zona de Los Colonos para empezar con la recolección diferenciada de la fracción orgánica. Otros miembros del grupo se enfocaron a preparar y poner en marcha la Unidad Municipal de Composteo. Y otros más desarrollaron el Programa de Educación Ambiental. Todos los miembros del equipo de investigación participaron en la preparación del documento del PMPGIRSU.

El desarrollo exitoso de este proyecto fue el resultado tuvo al menos 3 ventajas:

- Una muy buena disposición del gobierno local, empezando con el compromiso del Presidente Municipal, así como los responsables de Aseo Público, Ecología y Medio Ambiente, y la Unidad de Planeación y Gestión Estratégica Municipal.
- El Programa de Educación Ambiental realizado por el equipo de investigación y la comunicación social del proyecto por parte del ayuntamiento. Estas actividades brindaron información, conocimientos, experiencias novedosas a los participantes, lo cual les motivó a realizar acciones ciudadanas a favor de la gestión integral de residuos.
- La participación ciudadana fue de muy buen nivel, tanto los residentes de Los Colonos, las actividades del Grupo Promotor Local (voluntariado), también hubo una buena participación de Directivos, docentes y alumnos de escuelas de educación básica. Así como del equipo responsable de los Cursos de Verano 2019, el Coordinador, los profesores y los niños y jóvenes participantes.

- La participación articulada y coordinada de un grupo interdisciplinario de nueve investigadores con personal de cuatro Centros Públicos de Investigación: CIESAS, CIATEJ, CICY y COLSAN.

El logro en cuanto a capacitación del Grupo Promotor Local para producción de composta y lombricomposta a nivel doméstico es importante. Así también la iniciativa de la Unidad Municipal de Composteo que ha mantenido su operación y ha incrementado el volumen de residuos orgánicos procesados por semana. Esto último es un logro especial, ya que administraciones municipales anteriores habían propuesto y diseñado planes para establecer una planta de composteo, pero por diversas razones los proyectos no arrancaron.

En educación ambiental, participación ciudadana y recolección se observa un avance importante en la lógica de la gestión integral de residuos. Sin embargo, el punto débil es la disposición final, ya que el sitio actual presenta varias problemáticas como: su tiempo de vida útil ha sido rebasado, el sitio está saturado de residuos, la operación no cumple cabalmente con la normatividad, y se depositan residuos de manejo especial como restos de animales muertos y llantas automotrices de los camiones cañeros. La administración municipal tendrá que decidir en el corto plazo si construye un nuevo relleno sanitario municipal, o si se asocia con municipios vecinos para construir un relleno sanitario intermunicipal, o bien se concreta un plan del gobierno estatal para instalar en la zona una planta de tratamiento mecánico biológico de los residuos sólidos urbanos con la participación de los 12 municipios de la Región Valles de Jalisco.

6. Conclusiones

En este proyecto se dieron pasos importantes para consolidar una gestión integral de residuos en el municipio, tales como: el impulso a una cultura ambiental favorable derivada del Programa de Educación Ambiental, los cambios que conlleva la recolección separada en una zona de la ciudad de Etzatlán y el inicio de la valorización de la fracción orgánica en la Unidad Municipal de Composteo. Además, se logró formalizar la propuesta en un documento institucional del PMPGIRSU de Etzatlán, mismos que ha sido aprobado por el Cabildo y es un Programa vinculante que estará vigente a corto y mediano plazo, más allá de una administración municipal.

Sin duda un factor determinante en el éxito de las acciones emprendidas es el respaldo y la atención que ha brindado el propio Presidente Municipal que tiene un compromiso con un Etzatlán limpio en el que los residuos deben ser manejados de forma sustentable. Los funcionarios de primer nivel en Aseo Público, Ecología y Medio Ambiente, así como en la Unidad de Planeación y Gestión Estratégica Municipal se involucraron en el proyecto y formaron parte, junto con el equipo de investigadores, de un grupo coordinador de las acciones acordadas.

Este proyecto se inscribe en una estrategia municipal para el desarrollo sustentable. También ha logrado avances importantes en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el municipio, el esfuerzo deberá continuarse con las campañas de educación y cultura ambiental a la población y a grupos escolares. También se deberá extender la recolección separada en dos frentes: aumentar las rutas que participan el programa de recolección separada, a la par de que se aumenta la capacidad y se mejora la infraestructura de la Unidad Municipal de Composteo; y empezar con el programa de aprovechamiento de los materiales reciclables (inorgánicos), considerando su acopio, posible valor agregado, y comercialización.

El camino de la gestión integral de residuos sólidos urbanos es largo y complejo, pero cuando las autoridades municipales están comprometidas, con voluntad y con visión estratégica se puede avanzar de forma sistemática para cambiar las formas tradicionales de producir y tirar la basura. Se ha impulsado el manejo integral de los residuos sólidos, promoviendo la participación ciudadana y la cultura ambiental, cuidando los recursos y los ecosistemas locales.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bernache Pérez, G., R. H. Cruz Estrada, J. del Valle, O. Aguilar Juárez (2018). *Retos y avances en la gestión de residuos sólidos urbanos* en municipios de Jalisco. Policy Brief Series. CIESAS Divulgación. Guadalajara.
- [2] Bernache Pérez, G. (2019). “Evaluación de los sistemas de manejo de residuos en cuatro municipios de Jalisco, México” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 35 (2019), 19-27.
- [3] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Publicado por SEMARNAT, Ciudad de México.
- [4] Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco (2018) Etzatlán. Diagnóstico del Municipio. Mayo 2018. Publicado por el Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. Guadalajara.
- [5] Bermejo Gómez de Segura, R. (2014) *Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomesis*. Editorial Hegoa, Bilbao.
- [6] Daly, Hermann (2008) “Desarrollo sustentable. Definiciones, principios, políticas”. En *Aportes*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Núm. 7, febrero 2008. 5-26.
- [7] Bernache Pérez, G (2011) *Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental*. Publicaciones de la Casa Chata. CIESAS. Guadalajara. Segunda Edición.
- [8] Ramírez Treviño, A., J. M. Sánchez Núñez y A. García Camacho (2004) “El Desarrollo Sustentable: Interpretación y Análisis”. *Revista del Centro de Investigación*. Universidad La Salle, vol. 6, núm. 21, julio-diciembre, 2004, 55-59.
- [9] Ley General para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos (LGPGIRS) (2003). Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003, versión actualizada del 05 de diciembre de 2014. Ciudad de México.
- [10] Corona Chávez, Y. y L. de la Torre Gómez (2020) “Experiencias de Educación Ambiental para la Gestión Integral de Residuos en Etzatlán, Jalisco”. Ponencia presentada en el 10º Encuentro Nacional de Expertos en Residuos *La Gestión Integral de Residuos*. Modalidad Virtual. Celebrado del 7 al 9 de octubre 2020.
- [11] H. Ayuntamiento de Etzatlán (2020) “Programa Municipal de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos 2018-2021 Etzatlán”. Etzatlán, Jalisco a 6 de abril de 2020. Aprobado por el Cabildo Municipal el 29 de mayo de 2020.

Determinación de Aspectos ambientales en un centro de acopio de residuos de manejo especial para la implementación de ISO 14001

¹Griselda González-Cardoso, ² Claudia Caricia Hernández Galindo, ³Alfonso Espitia-Cabrera

¹Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Alcaldía de Azcapotzalco, Ciudad de México
grgc@azc.uam.mx

^{2,3}Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco

Resumen

En este trabajo, se establece la determinación de aspectos ambientales como punto de partida para el diseño de un Sistema de Gestión Ambiental, de acuerdo a los requisitos establecidos en la ISO 14001, para un centro de acopio de residuos de manejo especial ubicado en el Estado de México con capacidad de una tonelada. La ISO 14001 es un estándar internacional, en donde se señalan los requisitos para establecer un sistema de gestión ambiental con el propósito de administrar y controlar los aspectos ambientales y de esta manera mejorar el desempeño ambiental, medible a través de indicadores. Se seleccionaron criterios para evaluar la significancia de los aspectos ambientales en relación con el impacto que ocasionan al ambiente, con la finalidad de que el centro de acopio establezca un sistema de gestión ambiental para administrarlos, controlarlos y lograr una mejora de la actuación y desempeño ambiental y así alcanzar la certificación para obtener un posicionamiento a nivel nacional como empresa comprometida con el ambiente.

Palabras Clave: *Aspecto ambiental, sistema de gestión ambiental, ISO14001, impacto ambiental, desempeño ambiental*

227

1. Introducción

Cada vez más organizaciones empiezan a adoptar Sistemas de Gestión Ambiental con una visión trascendental, que les permita la disponibilidad de recursos para las futuras generaciones, el diseñar e implementar un sistema de gestión ambiental conlleva tener siempre en cuenta el impacto ambiental que la empresa genera, y, por tanto, plantear la posibilidad de disminuir dicho impacto considerando alternativas como, por ejemplo, utilizar energías renovables, consumir agua depurada o regenerada, consumir productos con etiqueta ecológica, proteger el entorno en el que desarrolla su actividad, establecer una política clara de prevención y disminución de los impactos generados [1].

Djekic y colaboradores mencionan que los principales beneficios que se obtienen tras la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental son el cumplimiento legal, la conservación de los recursos naturales, la mejoría de la reputación de la empresa, la reducción de residuos y la respuesta de emergencias, siendo el aumento en la conciencia ambiental el factor más importante relacionado a la implementación [2].

La implementación de un sistema de gestión ambiental mejora el desempeño ambiental y la imagen pública, esto fue demostrado en un estudio con una muestra de 3633 empresas pequeñas en doce países europeos, en donde los efectos ambientales significativos se lograron controlar y disminuir [3]. Un programa voluntario ampliamente utilizado es el certificado ISO 14001 para demostrar este desempeño ambiental [4].

El estándar ISO 14001 define aspecto ambiental como el elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que interactúa o puede interactuar con el medio ambiente y sistema de gestión ambiental como una herramienta para gestionar estos aspectos ambientales, cumplir los requisitos

legales y otros requerimientos, y abordar los riesgos y oportunidades para mejorar el desempeño ambiental [5].

El modelo en que se basa el estándar internacional ISO 14001 es la mejora continua “Planificar-Hacer-Verificar-Actuar” considerando el cumplimiento de la normativa ambiental, y el establecimiento de objetivos ambientales mensurables [6].

La organización en la que realizó este trabajo es un centro de acopio de residuos de manejo especial ubicada en el Estado de México catalogada como pequeña empresa, cuenta con 10 trabajadores y con dos camiones para la recolección de residuos de plástico, vidrio, cartón, papel y metal, con una capacidad de 1 tonelada.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Determinar los aspectos ambientales significativos para el diseño del sistema de gestión ambiental en un centro de acopio de residuos de manejo especial.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar los aspectos ambientales en cada una de las operaciones y actividades
- Seleccionar y aplicar criterios de significancia para establecer los aspectos ambientales significativos
- Identificar los requisitos legales ambientales aplicables a la organización
- Establecer controles operacionales para los aspectos ambientales significativos

3. Metodología

228

Este trabajo se realizó utilizando la metodología descrita en la norma NMX-SAA-14001-IMNC-2015 Sistemas de Gestión Ambiental- Requisitos con orientación para su uso, normalización mexicana de la norma internacional ISO 14001:2015, además del apoyo de la norma NMX-SAA-14004-IMNC-2016 Sistemas de Gestión Ambiental- Directrices generales sobre la implementación [7].

3.1 Descripción de las operaciones relacionadas al proceso productivo de la empresa

Según lo establecido en la NMX-SAA-14004-IMNC-2016, criterio 6.1.2.2., se analizó la información recabada acerca de las actividades y operaciones que se llevan a cabo en el centro de acopio, de tal forma que se puedan identificar los Aspectos Ambientales y sus subsecuentes Impactos Ambientales.

3.2 Identificación de aspectos ambientales

Conforme a la NMX-SAA-14004-IMNC-2016 en su requisito 4.3.1.3, se identificaron los aspectos ambientales, que están asociados con las actividades del centro de acopio e identificando las condiciones de operación normal, anormales, tales como el mantenimiento y situaciones de emergencia y accidentes.

3.3 Determinación de aspectos ambientales significativos

Acorde a la NMX-SAA-14004-IMNC-2016 requisito 4.3.1.4, se determinaron los aspectos ambientales significativos utilizando criterios para evaluarlos, para ello se adecuó y modificó la metodología “Identificación y Evaluación de Aspectos Ambientales” propuesta por el Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno del País Vasco, donde se establecen los criterios para evaluar la importancia de los Aspectos Ambientales [8], los cuales se describen a continuación.

Para condiciones normales/ anormales

C1. Magnitud: Considerando la cantidad o volumen del aspecto generado, emitido, vertido o consumido, la frecuencia haciendo referencia a la duración o repetición del aspecto ambiental, la extensión referida a la zona o superficie afectada.

C2. Peligrosidad: Considerando la propiedad que puede caracterizar a un aspecto ambiental, siendo de mayor significancia aquellos que por naturaleza son más dañinos al ambiente.

C3. Acercamiento a Límites Máximos Permisibles: Este criterio se refiere si existe una norma de referencia ya sea de límites máximos permisibles o algún documento de referencia.

C4. Sensibilidad del Medio: Considerando la afección o impacto ambiental que genera el aspecto ambiental y su relación innata con su entorno.

C5. Estado de Regulación: Interpretado como la existencia de algún requisito legal u otro tipo de requisito a los que la organización se somete y que son aplicables al aspecto ambiental.

Para condiciones en Situaciones de emergencia

C6. Probabilidad/ frecuencia: Considerando las características de peligrosidad de las sustancias involucradas, hoja de datos de seguridad, historial de accidentes etc.

C7. Extensión: Refiriendo el espacio de influencia del impacto en relación con el entorno, considerando que puede ser natural, humano o socioeconómico.

C8. Peligrosidad: Refiriendo a la peligrosidad intrínseca de las sustancias afectadas.

C9. Sensibilidad del Medio: Refiriendo a la calidad del entorno en el que puede producirse la situación de riesgo, emergencia o accidente, considerando el área y sus características.

C10. Mitigación de riesgos: Son las medidas de mitigación y atención de emergencias de la empresa

3.4. Determinar los requisitos legales y otros requisitos relacionados con sus aspectos ambientales

Según la NMX-SAA-14001-IMNC-2015, en su requisito 6.1.3 y la NMX-SAA-14004-IMNC-2016 en sus requisitos 4.2.4 y 6.1.3, se determinó ampliamente cualquier requerimiento legal relacionada con los aspectos ambientales de la empresa, emitida por autoridades ambientales, de qué manera y sobre qué aspectos específicos tendrán acción regulatoria estos.

3.5. Establecer la planificación y control operacional para los aspectos ambientales

Tomando el requisito 8.1 de la NMX-SAA-14001-IMNC-2015, se establecieron los procesos necesarios para satisfacer los requisitos del sistema de gestión ambiental, mediante el establecimiento de propuestas de controles de operación para los procesos de acuerdo con los criterios de operación.

4. Resultados y discusión.

4.1 Descripción del proceso del centro de acopio

El centro de acopio es una instalación con una capacidad de manejo de 1 tonelada de residuos de manejo especial, es una pequeña empresa ubicada en el Estado de México, cuenta con dos vehículos para el transporte de los residuos y la operación es manual con 10 trabajadores, algunos residuos son triturados para su manejo, las actividades que se realizan son:

Recolección de residuos de manejo especial (RME): Se recogen de los sitios donde se proporciona este servicio.

Recepción de RME: Se reciben en la instalación disponible y se cuantifica y registra el tipo de residuos recibidos para llevar un control de los mismos.

Área de Pesado de RME: Se pesan, anotando en una bitácora la cantidad que se recibe de las empresas en que se gestionan.

Almacén de RME: Se almacenan adecuadamente con su respectiva etiqueta y orden.

Separación de RME (Clasificación): Se separan los materiales de manera manual, de acuerdo a su clasificación: papel o cartón, vidrio blanco y de color, plástico PET, plástico de película, metales, algunos residuos son triturados con un molino que se tiene.

Limpieza de instalaciones: Se limpia la instalación para eliminar los residuos y lixiviados que se generaron durante la separación.

Transferencia de RME: Una vez separados, se hace la asignación y entrega de los mismos para su venta en las recicladoras correspondientes de acuerdo a la clasificación y tipo de material, anotando en una bitácora la cantidad que se entrega a las plantas recicladoras.

Servicios Auxiliares: Se realiza mantenimiento anualmente a la instalación.

4.2 Identificación de entradas y salidas

En la organización se identificaron las operaciones, las entradas y salidas asociadas a actividad realizada en el centro de acopio. El diagrama de bloques del proceso se muestra en la Figura 1, y en la Tabla 1 se muestra el resumen de las entradas y salidas.

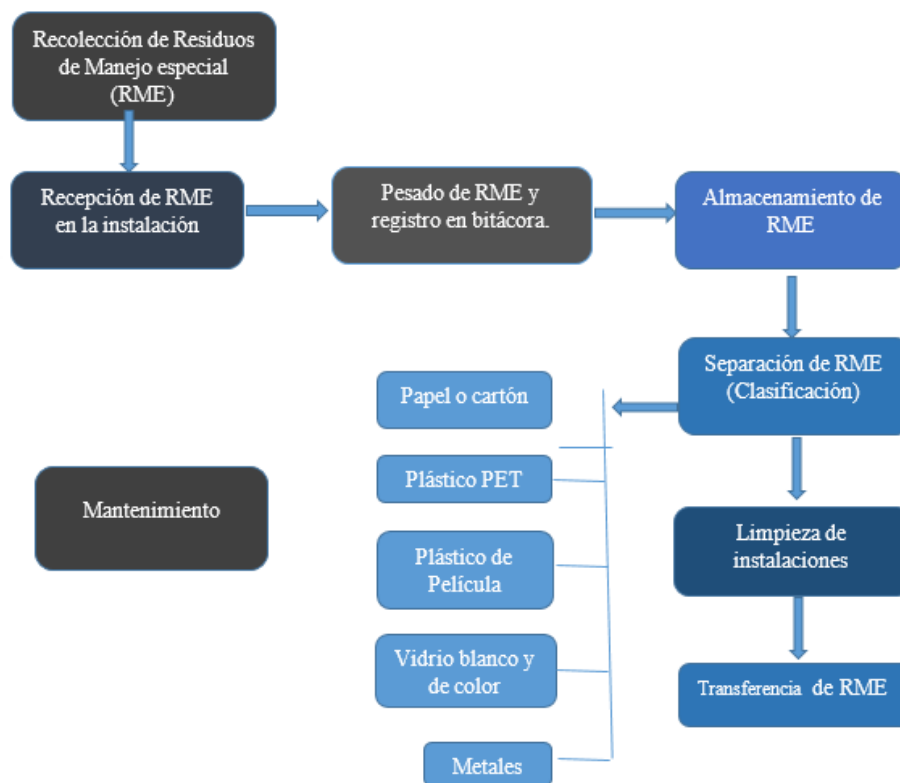


Figura 1. Diagrama de bloques del centro de acopio

Tabla 1 Identificación de entradas y salidas

Entradas	Actividad/operación unitaria	Salidas
-Combustible -RME	Recolección de Residuos de Manejo Especial (RME)	-RME -Gases de combustión
-RME -Material de empaque -Energía eléctrica	Recepción de Residuos de Manejo Especial	-Gases y compuestos de efecto invernadero
-RME -Energía eléctrica	Área de Pesado de Residuos de Manejo Especial	- Gases y compuestos de efecto invernadero -RME
--RME -Energía eléctrica	Almacén de Residuos de Manejo Especial	- Gases y compuestos de efecto invernadero -RME
-Energía eléctrica -Material de empaque	Separación de RME (Clasificación)	- Gases y compuestos de efecto invernadero -Ruido -Polvos y partículas
-Material de limpieza -Agua	Limpieza de instalaciones	-Residuos Sólidos Urbanos - Aguas residuales
-Combustible -RME	Transferencia de Residuos Sólidos Urbanos	-RME -Gases de combustión

4.3 Identificación de Aspectos Ambientales

De acuerdo a las entradas y salidas, se identificaron los elementos que interactúan con el medio ambiente y se determinó los aspectos ambientales y sus impactos ambientales, los cuales se muestran en la Tabla 2.

231

Tabla 2. Aspectos Ambientales

Actividad	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
Recolección de Residuos de Manejo Especial	Consumo de combustible	Incremento de emisiones de compuestos y Gases de Efecto Invernadero a la atmosfera Agotamiento de combustibles fósiles no renovables
	Consumo de energía eléctrica	Incremento de emisiones de GEI
Recepción de Residuos de Manejo Especial	Consumo de energía eléctrica	Incremento de emisiones de GEI
Área de Pesado de Residuos de Manejo Especial	Consumo de energía eléctrica	Incremento de emisiones de GEI
Almacenamiento de Residuos de Manejo Especial	Consumo de energía eléctrica	Incremento de emisiones de GEI
	Incendio de residuos de manejo especial (condición de emergencia)	Daños a la instalación y personal, emisiones al aire
Separación de Residuos de Manejo Especial (Clasificación)	Consumo de energía eléctrica	Incremento de emisiones de GEI
	Emisiones de polvos y partículas suspendidas	Contaminación del aire
	Emisión de ruido	Contaminación por ruido
Limpieza de instalaciones	Consumo de energía eléctrica	Incremento de emisiones de GEI
	Consumo de agua	Agotamiento de Recurso Natural
	Descarga de aguas residuales	Contaminación de agua y sobrecarga de sistemas de tratamiento de aguas residuales

Actividad	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
	Generación de Residuos Sólidos urbanos	Contaminación de suelo y sobrepresión de rellenos sanitarios
	Consumo de combustible	Incremento de emisiones de compuestos y GEI a la atmósfera Agotamiento de combustibles fósiles no renovables
Mantenimiento en Instalaciones	Generación de Residuos Peligrosos	Sobrecarga de sitios de disposición final y tratamiento de residuos peligrosos
	Uso de sustancias químicas	Sobrecarga de recursos no renovables
	Derrame de sustancias químicas y/ residuos peligrosos (condición de emergencia)	Riesgo de incendio o explosión Contaminación por RSU

El aspecto ambiental “consumo de energía eléctrica” es debido a la operación de la báscula, el molino, computadoras y la red de alumbrado del área del centro de acopio.

El aspecto ambiental “consumo de combustibles” es por uso de gasolina de los dos vehículos que se tienen para el transporte de los residuos. La “generación de residuos sólidos urbanos” y la “descarga de aguas” es por la limpieza de las instalaciones, las “emisiones de partículas” y “generación de ruido” es debido al uso del molino. La “generación de residuos peligrosos” y “uso de sustancias químicas” se debe a las actividades de mantenimiento civil y eléctrico a las instalaciones.

En condiciones de emergencia se tienen dos aspectos ambientales: derrame de sustancias químicas y/o residuos peligrosos y el posible incendio de los residuos de manejo especial.

4.3 Determinación de Aspectos Ambientales Significativos

Una vez realizada la identificación de los Aspectos Ambientales, se establecieron cuáles son los Aspectos Ambientales Significativos, es decir, aquellos aspectos ambientales que por su acción o efecto tienen o pueden producir un impacto ambiental significativo [2]; Se adaptaron y modificaron los 10 criterios establecidos en la metodología “Identificación y Evaluación de Aspectos Ambientales” propuesta por el Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno del País Vasco [8].

Se estableció una ponderación para considerar un Aspecto Ambiental Significativos de acuerdo a la Tabla 3, los resultados de la evaluación se muestran en la Tabla 4.

Tabla 3. Ponderación para establecimiento de aspectos ambientales significativos

Significancia	Rango	Medidas
Significativo	De 11 a 15	Tomar acciones inmediatas para remediar los impactos ambientales y detener su incidencia
No significativo	De 6 a 10	Mantener controles operativos y evaluar oportunidades de mejora
No significativo	De 1 a 5	Mantener controles operativos y evaluar cada 2 años

Tabla 4. Evaluación de significancia de aspectos ambientales

Actividad	Aspecto Ambiental	Criterios de Significancia ©												
		Condiciones normales					Situaciones de emergencia							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Recolección de Residuos de Manejo Especial	Consumo de combustible	3	3	2	2	1							11	Significancia Significativo
	Consumo de energía eléctrica	2	2	1	0	2							7	No significativo
Recepción de Residuos de Manejo Especial	Consumo de energía eléctrica	2	2	1	0	2							7	No significativo
Pesado de Residuos de Manejo Especial	Consumo de energía eléctrica	3	2	1	0	2							7	No significativo
Almacenamiento de Residuos de Manejo Especial	Consumo de energía eléctrica	3	2	1	0	2							7	No significativo
	Incendio de residuos de manejo especial						2	2	3	2	2		11	Significativo
Separación de Residuos de Manejo Especial (Clasificación)	Consumo de energía eléctrica	2	2	1	0	2							7	No significativo
	Generación de Residuos sólidos urbanos	3	2	2	1	3							11	Significativo
	Emisiones de polvos y partículas suspendidas	3	3	2	2	1							11	Significativo
	Emisiones de ruido	2	1	1	1	1							6	No significativo
Limpieza de Instalaciones	Consumo de energía eléctrica	1	2	1	0	2							6	No significativo
	Consumo de agua	1	1	2	1	2							7	No significativo
	Descarga de aguas residuales	3	2	2	1	2							8	No significativo
	Generación de Residuos sólidos urbanos	2	1	2	1	3							9	No significativo
Transferencia de Residuos de Manejo Especial	Consumo de energía eléctrica	1	2	1	0	2							6	No significativo
	Emisiones a la atmosfera	2	2	1	1	1							7	No significativo
	Consumo de combustible	3	3	2	2	1							11	Significativo
Mantenimiento de las Instalaciones	Generación de Residuos Peligrosos	1	2	3	2	2							10	No significativo
	Derrame de sustancias químicas y/ Residuos peligrosos						1	2	3	2	2		10	No significativo
	Uso de sustancias químicas	1	2	3	2	2							10	No significativo

Para determinar la significancia se revisaron los consumos de insumos, combustibles, electricidad, agua y cantidad de residuos generados, e información relacionada con los aspectos ambientales, de acuerdo a la evaluación de los aspectos ambientales se obtuvo cuatro aspectos ambientales significativos: consumo de combustibles por el uso de vehículos, el posible incendio en el almacenamiento de los residuos, generación de residuos sólidos urbanos y emisión de partículas y polvos en la actividad de separación de residuos de RME.

La actividad “Separación de Residuos de Manejo Especial (Clasificación)” resulto con más aspectos ambientales significativos (calificación igual a 11), esta actividad es una de las principales en el centro de acopio donde se realiza el acondicionamiento y preparación de los diferentes tipos de residuos, desde la separación, envase, molienda, clasificación y preparación para la transferencia de residuos.

4.4. Identificación de requisitos legales

Para el cumplimiento de los requisitos legales se identificaron los requisitos aplicables para cada uno de los aspectos ambientales, se revisó la normatividad del Estado de México, municipal y a nivel Federal, el resumen se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Normatividad aplicable a los aspectos ambiental del Centro de acopio

Aspecto Ambiental	Normatividad ambiental	Cumplimiento
Consumo de agua	Artículo 80. Fracción II, V, VI, VIII., y Artículo 248. Fracción I del Reglamento de la Ley del Agua para el Estado de México y sus Municipios Art. 239, 240, 241 del Libro Segundo del Código para la Biodiversidad del Estado de México	Controlar y disminuir el consumo de agua para la prestación de sus actividades
Descarga de aguas residuales	NOM-002-SEMARNAT-1996 Artículo 80. Fracción II, V, VI, VIII., y Artículo 248. Fracción I del Reglamento de la Ley del Agua para el Estado de México y sus Municipios Art. 239, 240, 241 del Libro Segundo del Código para la Biodiversidad del Estado de México	Prevenir y controlar la contaminación de las aguas residuales en los sistemas de alcantarillado municipal.
Generación de emisiones de polvos y partículas suspendidas	Ley de Desarrollo Sustentable y Protección al Ambiente del Estado de México, Cap. II, Art. 90 Art. 87, 88 Ley General de Cambio Climático Art. 3, 9 Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en materia de registro nacional de emisiones	Controlar las emisiones de polvos y partículas a la atmosfera.
Consumo de energía eléctrica	Ley del Cambio Climático del Estado de México. Título Tercero, Cap. II Art. 29 al 31 Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, Título Quinto, Cap. Único, Art. 26 Art. 87, 88 Ley General de Cambio Climático Art. 3, 9 Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en materia de registro nacional de emisiones	Prevenir y controlar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Optimizar la eficiencia de la energía eléctrica mediante la prevención y el control en los procesos.
Emisión de ruido	Art. 2.194 del Libro Segundo del Código para la Biodiversidad del Estado de México Art. 255, 362, fracción VI, IX, X, del Reglamento del Libro Segundo del Código para la Biodiversidad del Estado de México NOM-081-SEMARNAT-1994	Verificar que se cumpla con los límites máximos permisibles en un área perimetral interna y externa de la instalación.
Generación de Residuos sólidos	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	Verificar y asegurar el manejo de residuos sólidos urbanos

Aspecto Ambiental	Normatividad ambiental	Cumplimiento
urbanos	Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Título Primero Cap. I, Art. 42, 43 y Título Segundo Cap. I Art. 16 al 22, Cap. II, Art. 24 al 26, Cap. III, Art. 27 al 29 y Cap. IV, Art. 30 y 31. Código para la Biodiversidad del Estado de México. Libro Cuarto, Título Primero, Cap. I y II; Título Segundo, Cap. I; Título Tercero, Cap. I y II; Título Cuarto, Cap. I y II; Título Quinto, Cap. I al V. Ley de Desarrollo Sustentable y Protección al Ambiente del Estado de México. Cap. V, Art. 106 al 110	
Generación de Residuos Peligrosos.	NOM-052-SEMARNAT-2005 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Título Quinto, Cap. I, Art. 41 al 43 y Cap. II, Art. 44 al 49 Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Título Cuarto, Cap. I, Art. 35 al 41; Cap. II, Art. 42 al 47; Cap. III, Art. 43 al 67; Cap. IV, Art. 68 al 81; Cap. V, Sección I al V	Verificar y asegurar el manejo de residuos peligrosos
Uso de combustible.	NOM-041-SEMARNAT-2015 Ley de Desarrollo sustentable y protección al ambiente del Estado de México. Prevención y control de contaminación atmosférica Cap. II, Art. 91 y 92.	Realizar mantenimiento mensual preventivo a las unidades de transporte.
Uso de sustancias químicas Derrame de sustancias químicas y/ residuos peligrosos Posible incendio de residuos de manejo especial	NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad - Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.	Establecimiento del programa de prevención de accidentes considerando estos escenarios de riesgo. Cumplimiento de los requisitos de seguridad e higiene de las normas aplicables de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

De acuerdo a la revisión de la normatividad aplicable se identificó que la empresa tiene que realizar cumplimientos normativos obligatorios a nivel municipal, estatal y federal, por lo que tendrá que establecer un procedimiento de evaluación del cumplimiento en donde se determine la frecuencia con la que se evaluará el cumplimiento; emprender las acciones que fueran necesarias en caso de incumplimiento.

4.5. Control operacional de aspectos ambientales

Se establecieron los lineamientos para el control de los aspectos ambientales (ver Tabla 6) los cuales serán la base para el establecimiento del programa ambiental del sistema de gestión ambiental.

Tabla 6. Propuesta de control operacional de aspectos ambientales

Aspecto ambiental	Objetivo	Actividades
Consumo de agua	Optimizar el consumo de agua	Llevar un control mediante bitácora del volumen de consumo de agua que se consume en la instalación bimestralmente. Capacitar al personal para limpiar en seco y ahorrar el consumo de agua.
Descarga de aguas residuales	Cumplir con los límites máximos permisibles registrados en la NOM-002-SEMARNAT-1996	Realizar un estudio anual de acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996 mediante un laboratorio acreditado. Realizar las acciones necesarias en caso de no cumplir con los límites máximos permisibles.
Generación de emisiones de polvos y partículas suspendidas	Controlar las emisiones de partículas y polvos en el molino	Capacitar al personal para la operación y mantenimiento del molino. Evaluar la factibilidad de realizar un cerramiento en el molino para controlar las emisiones.
Consumo de energía eléctrica	Disminuir el consumo de la energía eléctrica	Llevar un control mediante bitácoras de los kilowatts que se consumen en la instalación bimestralmente. Realizar un programa de ahorro de energía.
Emisiones de ruido	Cumplir con los límites máximos permisibles de la NOM-081-SEMARNAT-1994	Realizar el estudio de ruido perimetral de acuerdo a la NOM-081-SEMARNAT-1994 mediante un laboratorio acreditado y realizar las actividades necesarias en caso de rebasar los límites máximos permisibles.
Generación de Residuos sólidos urbanos	Minimizar los residuos sólidos urbanos	Implementar un control mediante bitácora para el manejo de Residuos Verificar actividades para la minimización y prevención de residuos peligrosos Capacitar al personal en el manejo de los residuos
Generación de residuos peligrosos	Minimizar los residuos peligrosos	Implementar un control mediante bitácora para el manejo de residuos peligrosos. Verificar actividades para la minimización y prevención de residuos peligrosos Capacitar al personal en el manejo de residuos peligrosos
Uso de combustible.	Disminuir el consumo de gasolina en las unidades de transporte	Llevar un control mediante bitácoras de mantenimiento de la unidad y de recorrido. Realizar mantenimiento preventivo a las unidades de transporte.
Posible incendio de residuos de manejo especial Derrame de sustancias químicas y/ residuos peligrosos	Controlar los posibles escenarios de riesgo ambiental	Elaborar un programa de prevención de accidentes considerando estos escenarios de riesgo. Establecer un programa de revisión de seguridad e higiene para el cumplimiento de las normas aplicables de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

5. Conclusiones

Es necesario el establecimiento de aspectos ambientales en una instalación como punto de partida para el desarrollo de un sistema de gestión ambiental, debido a que el diseño estará enfocado en el control y administración de los mismos.

En el presente trabajo se utilizaron criterios que fueron adaptados para aplicarse al Centro de Acopio para la obtención de los aspectos ambientales significativos, el resultado arrojó que los más significativos se presentan en la actividad de separación y acondicionamiento de los residuos de manejo especial, es esta actividad se realiza la molienda de algunos residuos, envase, fleje y separación de subproductos. La evaluación de los aspectos en condiciones de emergencia también es importante debido a que como en este caso un posible incendio en el almacenamiento de residuos puede impactar de manera significativa al ambiente.

Los resultados obtenidos en este trabajo son exclusivos para esta instalación la cual es un centro de acopio de residuos de manejo especial que maneja solo cinco subproductos con una capacidad de 1 tonelada, es importante aclarar que los resultados no pueden ser generalizados para cualquier centro de acopio, partiendo que no se tienen las mismas condiciones de operación, manejo, capacidad de operación y ubicación. Lo anterior nos lleva a concluir que la aplicación de criterios para obtener los aspectos ambientales significativos es de gran utilidad, sin embargo, estos deben de ser específicas para la instalación a evaluar.

También es importante establecer los controles operacionales para reducir los impactos ambientales negativos, los cuales se deberán de describir a detalle en el sistema de gestión ambiental de acuerdo a los requisitos de la ISO 14001, y también es importante que se definan indicadores ambientales para medir el cumplimiento de estos programas ambiental y medir el desempeño ambiental del Centro de Acopio.

Referencias Bibliográficas

- [1] Salim, H., Padfield, R., Balle Hansen, S., Eva Mohamad, S., Yuzir, A., Syahyuti, K., Hou Tham, M., Papargyropoulou, E. (2017). Global trends in environmental management system and ISO14001 research. Amsterdam: ELSEVIER, Journal of Cleaner Production
- [2] Djekic, I., Rajkovic, A., Tomic, N., Smigic, N., & Radovanovic, R. (2014). Environmental management effects in certified Serbian food companies. Amsterdam: ELSEVIER, Journal of Cleaner Production
- [3] Graafland, J. (2018). Ecological impacts of the ISO14001 certification of small and medium sized enterprises in Europe and the mediating role of networks. Amsterdam: ELSEVIER, Journal of Cleaner Production
- [4] Delmas, M., Montes-Sancho, M. (2011). An institutional perspective on the diffusion of international management system standards: the case of the environmental management standard ISO14001. Bus. Ethics Q. 21 (1), 103e132.
- [5] Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A. C. (IMNC). (2015). NMX-SSA-14001-IMNC-2015. Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para su uso. Ciudad de México: Instituto Mexicano de Normalización y Certificación
- [6] International Standard Organization (ISO). (2015). ISO 14001:2015. Sistemas de gestión ambiental — Requisitos con orientación para su uso. ISO: Ginebra
- [7] Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A. C. (IMNC). (2016). NMX-SAA-14004-IMNC-2016. Sistemas de gestión ambiental – Directrices generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo. México: Instituto Mexicano de Normalización y Certificación
- [8] Ingururnen Hobekuntza mejora ambiental (Ihobe) (2009). Identificación y Evaluación de Aspectos Ambientales. País Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda.

Propuesta de un plan de manejo de residuos para un club deportivo privado en el Estado de México

¹Kenia Rosas Trujillo, ²Rafael Ravelo Jiménez, ¹Maribel Velasco Pérez*

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, Alcaldía Azcapotzalco, CDMX *teléfono: 55 53 18 90 57, correo electrónico: mvp@azc.uam.mx ² Consultor ambiental

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentación del diagnóstico y una propuesta de plan de manejo de residuos para un club deportivo privado ubicado en el Estado de México. Se realizó un estudio de generación, y de selección y cuantificación de subproductos con la finalidad de conocer la cantidad y el tipo de residuos generados en el mismo para posteriormente proponer medidas para su prevención y minimización. El estudio de generación se realizó durante 7 días consecutivos, de los cuales se obtuvo una generación promedio de 2,795.40 kg/mes (4.2 kg/usuario/mes). En la selección y cuantificación de subproductos se encontró que los residuos que se generaron en mayor cantidad son alimentos (1,409.24 kg/mes), seguidos por cartón (187.07 kg/mes), papel (149.14 kg/mes), polietileno tereftalato (90.35 kg/mes), bolsas de plástico (90.67 kg/mes) y vidrio (92.60 kg/mes). También, se observó de forma cualitativa que el papel sanitario se genera en volúmenes significativos. Dado que el club genera más de 10 t/año de residuos se clasifica como gran generador, por lo que surge la necesidad de plantear una propuesta de manejo integral para los residuos que genera. En el plan de manejo se proponen medidas enfocadas a la prevención como lo son: la realización de campañas de sensibilización para generar cultura ambiental en la comunidad, reúso, reciclaje y compostaje, promoviendo la corresponsabilidad.

Palabras Clave: *corresponsabilidad, generación, plan de manejo, prevención, residuos, sensibilización, subproductos.*

1. Introducción

La gestión integral de los residuos sólidos urbanos (RSU) y de manejo especial (RME) es fundamental para preservar la salud de las personas y los recursos naturales y para el desarrollo de una cultura de sustentabilidad. México cuenta con estadísticas de la gestión de los RSU, aunque algunas veces éstas no se actualizan con la regularidad necesaria. Sin embargo, para los RME la información está dispersa, incompleta, desactualizada y sin consolidar [1].

La norma oficial mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 establece los criterios para clasificar los RME y determinar cuáles están sujetos a presentar planes de manejo [2]. Esta norma también indica que los elementos para la formulación de los planes de manejo son información del generador, un diagnóstico del residuo y elementos adicionales. Los planes de manejo son instrumentos para minimizar la generación y maximizar la valorización de los residuos bajo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral [3]. Sin embargo, la elaboración e implementación de planes de manejo para los RME presenta avances únicamente en el sector tecnológico, la industria del papel y cartón, polietileno tereftalato (PET), neumáticos usados y residuos de la construcción [1].

El plan de manejo para el PET por la asociación civil ECOCE A.C. es un ejemplo de la aplicación exitosa de este instrumento para favorecer el aprovechamiento de los residuos. Esta asociación logró aumentar el reciclaje de PET de 6,657 t/año en 2002 a 187,000 t/año en 2016 [4]. También existen ejemplos de planes de manejo que, aunque en la mayoría de los casos no son presentados ante las autoridades correspondientes, contribuyen a fomentar en los generadores la disminución, separación y valorización de

los residuos. Éstos incluyen a la industria automotriz [5], centros educativos [6], unidades habitacionales [7] y parques [8], entre otros.

En el Estado de México, los planes de manejo pueden incluir RSU y RME que, conforme a la Ley General para la Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) no estén sujetos a un plan de manejo [9]. En esta entidad las empresas, establecimientos mercantiles y en general todo generador de RSU y de RME que sean entregados a los servicios de limpia tienen la obligación de separarlos desde la fuente, con el fin de facilitar su disposición y de llevar los residuos susceptibles de reciclado a los centros de acopio para su valorización [10].

El objetivo de este trabajo es proponer un plan de manejo para los residuos generados en un club deportivo privado, ubicado en el Estado de México. Para lo cual se realizó un diagnóstico de la cantidad y tipo de residuos generados en esta instalación y con base en este diagnóstico y las capacidades del club se propusieron estrategias para la prevención de la generación de residuos.

2. Metodología

Para proponer un plan de manejo para los residuos que genera el club se realizó un diagnóstico del manejo de los residuos y se estimó la generación y composición de éstos. El plan de manejo se planteó con la información recolectada y tomando en cuenta la capacidad de infraestructura y de personal del club. A continuación, se describen con más detalle estas etapas.

2.1 Diagnóstico de la gestión actual de los residuos

En esta etapa se realizó por medio de entrevistas y recorridos una evaluación sobre la situación actual del manejo de los residuos en el club deportivo. También se determinó la generación (estudio de generación) y composición de los residuos (estudio de selección y cuantificación de subproductos).

239

Entrevistas y recorridos

Primero se llevaron a cabo entrevistas con el personal administrativo (director y jefe de mantenimiento del club) y de limpieza a cargo de la gestión de los residuos, también se realizaron recorridos por las instalaciones del club para observar de primera mano la gestión de los residuos y la infraestructura disponible para este fin.

Estudio de generación

El estudio de generación de los residuos se llevó a cabo del 9 al 16 de septiembre del 2019, cada día se pesaron todas las bolsas de residuos llevadas al área destinada para hacer el estudio, se registró su peso (báscula digital Industrial marca Noval con capacidad de 200 kg), hora y lugar de procedencia. Después de ser pesadas las bolsas se depositaron en el contenedor principal de residuos. Con la información obtenida y el promedio de usuarios por día se estimó la cantidad de residuos generados por usuario por día (generación *per cápita*).

Estudio de selección y cuantificación de subproductos

Los residuos generados el miércoles se consideraron representativos para los generados de lunes a viernes y los del domingo para el fin de semana. Se seleccionó el miércoles como representativo de los residuos generados de lunes a viernes porque se encuentra a la mitad de la semana, se supuso que no se ve afectado por la cercanía del fin de semana previo o el siguiente. Es importante considerar que el domingo coincidió con una festividad nacional que afectó la generación y composición de los residuos. No se incluyeron los residuos de jardinería pues el club ya tiene implementado un manejo parcial de éstos. Los residuos sanitarios tampoco se consideraron debido a que éstos son de difícil aprovechamiento.

Los residuos generados el 11 (miércoles) y 15 (domingo) de septiembre de 2019 se utilizaron para realizar el estudio de selección y cuantificación de subproductos y la determinación del peso volumétrico. Éstos se llevaron a cabo conforme a las normas mexicanas NMX-AA-22-1985 y NMX-AA-19-1985, respectivamente [11], [12].

Los residuos generados los días seleccionados se llevaron a un área para determinar su composición. Se marcó en una superficie de concreto un cuadrado de 4 m, dividido en cuadrantes. Se vaciaron los residuos sobre esta superficie y se homogeneizaron con palas y bioldos. Después se distribuyeron los residuos en los cuatro cuadrantes y se eliminaron dos cuadrantes. Y los dos restantes se utilizaron para determinar la composición de los residuos. Éstos se separaron en bolsas previamente etiquetadas en 14 fracciones (PET, polietileno de alta densidad (PEAD), latas de aluminio, Tetrapak®, papel encerado, uncel, cartón, papel, bolsas de plástico, botellas de vidrio, residuos de alimentos, poliestireno expandido (PS), otros plásticos y todo lo demás).

Para determinar el peso volumétrico se utilizó un tambo de plástico limpio; se pesó vacío y se midió su altura y diámetro para calcular el volumen. Se llenó el tambo hasta el tope con los residuos, se golpeó contra el suelo tres veces, dejándolo caer de una altura aproximada de 10 cm. Nuevamente se llenó a tope el tambo con residuos. Después se pesó el tambo lleno y a este peso se le restó el del tambo vacío para obtener el peso neto de los residuos, se calculó el peso volumétrico dividiendo el peso de los residuos (en kg) entre el volumen que ocuparon éstos en el tambo (en m³).

Beneficios económicos derivados de la separación y comercialización de residuos inorgánicos valorizables

Se utilizó la generación promedio por día para calcular la generación mensual de residuos inorgánicos valorizables (PET, PEAD, latas de aluminio, cartón y papel). Se estimaron los ingresos que el club podría obtener de la venta de estos residuos suponiendo porcentajes de recuperación entre 25 y 100. Se utilizaron los valores de mercado de los residuos reportados en el Estudio de aprovechamiento y valorización de RSU en el Estado de México del Centro Mario Molina [13]. Debido a la variabilidad que presenta el mercado de residuos recuperables se consideró que esta era una estimación adecuada.

2.2 Propuesta del plan de manejo

En la última etapa de la metodología se analizaron los resultados obtenidos en el estudio de generación, selección y cuantificación de subproductos, identificando si los residuos generados en mayor proporción eran susceptibles de ser aprovechados, así mismo se propusieron estrategias de prevención y minimización.

3. Resultados y discusión

3.1 Diagnóstico de la gestión actual de los residuos

Entrevistas y recorridos

El club tiene una extensión de 2.6 ha, cuenta con 2,700 socios y socias, 23 canchas de tenis, dos albercas, gimnasios de duela, una cancha de voleibol, salones de usos múltiples, áreas de comida y áreas verdes.

El personal del club manifestó que no se realiza la separación de los residuos. Se reportó también que hubo un intento de implementar la separación de residuos de PET, cartón y latas de aluminio para su venta, y además se instalaron secadores automáticos en los sanitarios para reducir la generación de residuos de toallas de papel, pero ninguna de estas estrategias dio el resultado esperado. En particular para las toallas de papel, debido a la inconformidad de los y las usuarias con los secadores se tuvo que reanudar la provisión de éstas.

En el recorrido por el club se observó que los residuos son depositados sin separación por los y las usuarias en los contenedores ubicados en las áreas públicas. El personal de limpieza recolecta los residuos de estos botes dos veces al día, los lleva a un espacio abierto y los coloca en un contenedor sin tapa, donde permanecen hasta que pasa el servicio privado de recolección. Los botes para depositar residuos y el área de almacenamiento temporal permanecieron limpios y ordenados en el transcurso de este estudio. El personal desconoce el destino final de los residuos. Sin embargo, es probable que se lleven a un sitio de disposición cercano.

Los residuos de jardinería se recolectan de forma diferenciada y una proporción de éstos se deposita sobre las áreas verdes.

Estudio de generación

Los resultados obtenidos en el estudio de generación realizado del 9 (lunes) al 15 (domingo) de septiembre del 2019 se muestran en la Figura 1. La generación se estimó en 93.18 kg/día (2,795.40 kg/mes) o 0.14 kg/usuario/día (4.2 kg/usuario/mes). De acuerdo con los resultados del estudio de generación el club se clasifica como un gran generador, pues genera más de 50 kg/día de residuos, y está obligado a contar con un plan de manejo de residuos.

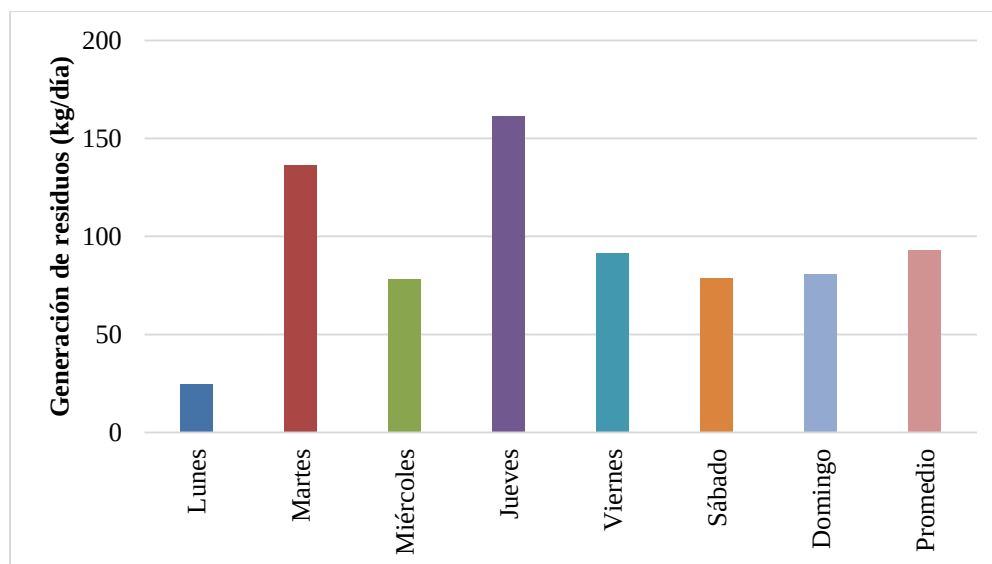


Figura 1. Generación de residuos en el club deportivo

Estudio de selección y cuantificación de subproductos

La Tabla 1 presenta la composición de los residuos en masa (%) para el 11 (miércoles) y 15 (domingo) de septiembre, el promedio de estos dos días y la estimación por día y por mes de la generación por tipo de residuo. En promedio los residuos que predominan son los de alimentos (1,049.24 kg/mes). Algunos residuos inorgánicos valorizables se encuentran presentes en cantidades significativas, por ejemplo: PET 90.35 kg/mes, PEAD 42.31 kg/mes, latas de aluminio 19.43 kg/mes, cartón 187.07 kg/mes y papel 149.14 kg/mes. Cabe resaltar que la composición que se presenta en la tabla 1, no incluye a los residuos de jardinería ni los residuos sanitarios. Dada la extensión del club (2.6 ha) la generación de residuos de jardinería es sustancial, y actualmente una parte de éstos se deposita directamente sobre áreas verdes.

Tabla 1. Composición en % masa y generación estimada de los residuos del club

Subproductos	% masa			Generación estimada	
	Miércoles	Domingo	Promedio	Masa (kg/día)	Masa (kg/mes)
Polietileno tereftalato (PET)	3.22	3.25	3.23	3.01	90.35
Polietileno de alta densidad (PEAD)	1.40	1.62	1.51	1.41	42.31
Latas de aluminio	0.53	0.86	0.69	0.65	19.43
Tetrapak®	0.99	0.31	0.65	0.61	18.25
Papel encerado	0.94	0.78	0.86	0.80	23.94
Unicel	0.35	0.73	0.54	0.50	15.04
Cartón	9.65	3.73	6.69	6.24	187.07
Papel	9.48	1.19	5.34	4.97	149.14
Bolsas de plástico	4.62	1.86	3.24	3.02	90.67
Vidrio (transparente y de color)	2.52	4.11	3.31	3.09	92.60
Residuos de alimentos (orgánicos)	41.78	59.05	50.41	46.97	1,409.24
Poliestireno (PS)	3.45	1.45	2.45	2.28	68.52
Otros plásticos	3.80	2.11	2.95	2.75	82.60
Todo lo demás	17.26	18.96	18.11	16.87	506.23
Total				93.18	2,795.40

La Tabla 2 presenta la estimación del peso volumétrico de los residuos del club, para el 11 (miércoles) y 15 (domingo) de septiembre, así como el promedio de estos dos días que es 47.13 kg/m³. El peso volumétrico de los residuos en la región centro de México es 121.49 kg/m³ [1]. El alto porcentaje de plásticos (entre 16.84 y 11.02) y la presencia significativa de cáscaras de frutas y verduras y lechuga puede explicar la densidad relativamente baja de los residuos del club.

Tabla 2. Volumen del recipiente y peso volumétrico de los residuos

Día	Tambo vacío (kg)	Tambo con residuos (kg)	Peso neto de los residuos (kg)	Volumen del tambo (m ³)	Peso volumétrico de los residuos (kg/m ³)
Miércoles	7.78	20.35	12.57	0.235	53.49
Domingo	7.78	17.36	9.58	0.235	40.77
Promedio					47.13

Beneficios económicos derivados de la separación y comercialización de residuos inorgánicos valorizables

La tabla 3 presenta los beneficios económicos mensuales derivados de la venta de los residuos inorgánicos valorizables, suponiendo recuperación de residuos entre 25% y 100%. Debido a que el valor económico de los residuos presenta una amplia variabilidad se decidió utilizar las estimaciones del Estudio de aprovechamiento y valorización de RSU en el Estado de México del Centro Mario Molina [13]. Como puede observarse inclusive suponiendo el 100% de recuperación de los residuos inorgánicos valorizables el beneficio económico derivado de la venta de estos materiales para el club es mínimo \$966.31 MX/mes.

Tabla 3. Beneficios económicos derivados de la venta de residuos inorgánicos valorizables

Residuo	Generación estimada (kg/mes)	Valor del residuo (\$ MX/kg) [13]	Beneficios económicos (\$ MX/mes)			
			25% de recuperación	50% de recuperación	75% de recuperación	100% de recuperación
PET	90.35	3.48	78.60	157.21	235.81	314.41
PEAD	42.31	2.12	22.43	44.85	67.28	89.70
Latas de aluminio	19.43	12.96	62.94	125.88	188.82	251.77
Cartón	187.07	0.91	42.56	85.12	127.67	170.23
Papel	149.14	0.94	35.05	70.10	105.15	140.19
Total			241.58	483.15	724.73	966.31

Aunque la disminución de la cantidad de residuos entregada a la empresa de recolección de residuos puede generar ahorros. Esto depende en gran medida del esquema tarifario que el club tenga pactado con dicha empresa.

3.2 Propuesta de plan de manejo

En esta sección se presenta el plan de manejo que se propuso al club deportivo de acuerdo con sus condiciones e infraestructura disponible. Primero se muestran las estrategias seguidas para orientar las medidas de prevención. Después, se abordan los residuos incluidos en la propuesta de plan de manejo, así como su diagnóstico. Finalmente se presentan las medidas propuestas para la reducción y separación de residuos en el origen, el tratamiento de residuos y su destino final.

Estrategias para la gestión integral de residuos en el club

En el diagnóstico se identificaron principalmente las siguientes problemáticas: desarrollo pobre de cultura ambiental en la comunidad del club, falta de separación de residuos y de la infraestructura para llevar a cabo la separación. Por lo que se proponen medidas orientadas a la sensibilización de la comunidad del club para lograr la reducción de residuos en el origen y medidas para la separación de los residuos valorizables para su posterior valorización.

Residuos incluidos en el plan de manejo y su diagnóstico

Este plan de manejo incluye a los residuos orgánicos, inorgánicos con potencial de aprovechamiento (plásticos, latas de aluminio, cartón y papel) y residuos sanitarios. A pesar de no haber cuantificado los residuos sanitarios en el club, se observó que estos se generan en un volumen significativo. Para los residuos que integran este plan de manejo se presenta el diagnóstico en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Diagnóstico de residuos valorizables

Diagnóstico	Orgánicos	Plásticos (PET y PEAD)	Latas de aluminio	Cartón y papel
Cantidad generada o estimada del residuo (kg/mes)	1,409.24 (alimentos)	132.66	19.43	336.21
Identificación de sus fuentes potenciales de generación	Los alimentos se generan en la cafetería y áreas de alimentos. Los de jardinería en áreas verdes	Cafetería y áreas de alimentos	Cafetería y áreas de alimentos	El cartón se genera en todo el club como embalaje y en la cafetería y áreas de alimentos. El papel se genera principalmente en las áreas administrativas
Principales materiales que componen el residuo	Restos de comida, verdura y fruta	Polietileno tereftalato (PET) y polietileno de alta densidad (PEAD)	Aluminio	Papel reciclado, fibra virgen
Manejo actual del residuo	Recolección y disposición final	Recolección y disposición final	Recolección y disposición final	Recolección y disposición final
Problemática ambiental asociada al manejo actual del residuo	Generación de gases de efecto invernadero y lixiviados en los sitios de disposición final Contribución a la saturación de los sitios de disposición final	Contribución a la saturación de los sitios de disposición final	Contribución a la saturación de los sitios de disposición final	Generación de gases de efecto invernadero y lixiviados en los sitios de disposición final Contribución a la saturación de los sitios de disposición final

Tabla 4. Diagnóstico de residuos valorizables (continuación)

Diagnóstico	Orgánicos	Plásticos (PET y PEAD)	Latas de aluminio	Cartón y papel
Identificación del uso o aprovechamiento potencial del residuo en otras actividades productivas	Compostaje (residuos de jardinería inicialmente)	Reciclaje y reutilización del material	Reciclaje	Reciclaje
Formas de manejo integral propuestas para el residuo	Reducción, separación en la fuente y compostaje de los residuos de jardinería	Reducción, separación en la fuente y traslado a un centro de acopio	Reducción, separación en la fuente y traslado a un centro de acopio	Reducción, separación en la fuente y traslado a un centro de acopio

Tabla 5. Diagnóstico de los residuos sanitarios

Diagnóstico	Residuos sanitarios
Identificación de sus fuentes potenciales de generación	Sanitarios en el club
Principales materiales que componen el residuo	Papel, papel reciclado, aditivos
Manejo actual del residuo	Recolección y disposición final
Problemática ambiental asociada al manejo actual del residuo	Generación de gases de efecto invernadero y lixiviados en los sitios de disposición final Contribución a la saturación de los sitios de disposición final
Identificación del uso o aprovechamiento potencial del residuo en otras actividades productivas	Reducción en el origen
Formas de manejo integral propuestas para el residuo	Campañas de sensibilización para disminuir su generación

Medidas para la reducción de residuos en el origen

En el club los residuos pueden ser generados por los usuarios y por los trabajadores. Por lo que es necesario brindar información específica a cada uno de estos grupos para disminuir la cantidad de residuos que se generan.

Para los usuarios se propone realizar campañas educativas para sensibilizarlos respecto a los problemas asociados a la generación de residuos, así como los beneficios de disminuir la cantidad de residuos. Se plantea realizar encuestas a los usuarios para conocer su nivel interés y conocimiento en materia de RSU, con base en esos resultados se implementará una campaña de sensibilización basada en la colocación de infografías, posters y material impreso en sitios estratégicos en el club. El vocabulario, las gráficas, y el contenido en general deberán estar claramente dirigidos a los usuarios y usuarias del club.

Para los trabajadores las medidas de prevención en la fuente incluyen revisar los procesos administrativos y de preparación y almacenamiento de alimentos para disminuir la generación de residuos evitables. A nivel administrativo se debe fomentar la creación de una política de compras verdes, es decir desarrollar una guía que permita adquirir productos que generen menor cantidad de residuos, que generen residuos que puedan ser valorizados o que no generen residuos. Por ejemplo, preferir el uso de vajillas reutilizables en lugar de desechables. También se deben revisar todos los procesos administrativos que requieren documentación impresa, para determinar si alguno de estos se puede migrar a modalidad electrónica. Para los residuos de alimentos se propone la capacitación constante del personal de las cocinas para que reduzcan la generación de residuos evitables durante la preparación y almacenamiento de alimentos, y para disminuir la comida preparada que se tiene que tirar porque no se vende antes de su fecha de consumo.

Medidas para la separación de los residuos en el origen

Se propone separar los residuos inorgánicos valorizables (PEAD, PET, latas de aluminio, cartón y papel), orgánicos (jardinería y alimentos) y todo lo demás. Para los residuos inorgánicos valorizables se destinarán contenedores especiales en áreas estratégicas como como las zonas para comer y áreas con mucho flujo de personas. Se propone también instalar contenedores específicos para papel y cartón en las áreas administrativas. Se les notificará a las y los usuarios y a las y los trabajadores de la existencia y del uso correcto de estos contenedores por medio de las campañas de sensibilización. Para los residuos orgánicos se propone su separación en zonas de alta generación como jardines y cafeterías. En la cercanía

de los contenedores para residuos inorgánicos valorizables y orgánicos deben colocarse contenedores para “todo lo demás”. Todos los contenedores deben estar rotulados con el tipo de residuos que reciben.

El almacén temporal de residuos debe adecuarse para poder contener de forma separada y organizada los residuos inorgánicos valorizables, orgánicos y todo lo demás. Se tiene que capacitar al personal del club que transporta y maneja los residuos para que no mezcle los residuos al momento de la recolección o el almacenaje.

Tratamiento de los residuos

Se propone comenzar un sistema de compostaje, en el que inicialmente se le daría tratamiento al 50% los residuos de jardinería. Se debe capacitar al personal para implementar el proceso de composteo, una vez que el proceso esté operando se puede ofrecer un taller de compostaje a las y los miembros del club. Éste serviría para concientizar a la comunidad del club sobre el manejo de los residuos.

Destino final de los residuos

Los residuos inorgánicos valorizables (PEAD, PET, latas de aluminio, papel y cartón) se llevarán un centro de reciclaje cercano. La composta elaborada se puede utilizar para el mantenimiento de las áreas verdes o para regalarla a las y los socios del club. Finalmente, el resto de los residuos se seguirá entregando una empresa de recolección privada.

3. Conclusiones

El objetivo de esta investigación era realizar un diagnóstico de la gestión de residuos en un club deportivo, para proponer medidas para fomentar su manejo integral y la concientizar a la comunidad, para aplicar el principio de responsabilidad compartida.

Para la estimación de la generación y composición de los residuos no se incluyeron los residuos de jardinería (actualmente se valorizan parcialmente) ni a los residuos sanitarios (son de difícil valorización). Sin embargo, a pesar de estas limitaciones el estudio permite obtener conclusiones importantes.

La generación promedio fue de 2,795.4 kg/mes y la generación per cápita fue de 4.2 kg/usuario/mes, con lo anterior se confirmó que el club es un gran generador y por lo tanto está obligado a contar con un plan de manejo de residuos. Además, los residuos generados en mayor cantidad fueron los de alimentos (1,409.24 kg/mes). Algunos residuos inorgánicos valorizables se encuentran en cantidades relativamente significativas (PET 90.35 kg/mes, PEAD 42.31 kg/mes, latas de aluminio 19.43 kg/mes, cartón 187.07 kg/mes y papel 149.14 kg/mes). Sin embargo, por su recuperación y venta el club obtendría beneficios económicos mínimos.

Al analizar los resultados de los estudios de generación y cuantificación de subproductos, así como la infraestructura del club, fue posible proponer un plan de manejo de residuos. Se observó que uno de los principales impedimentos para la implementación de éste es la falta de cultura ambiental en la comunidad del club. El personal administrativo intentó implementar un programa de separación de residuos y sustituyeron en los sanitarios las toallas de papel por secadores eléctricos, pero el programa de separación se suspendió por falta de participación y de beneficios económicos y se reestableció la provisión de toallas de papel por quejas de los y las socias. En este contexto se proponen campañas educativas para los y las socias y programas de capacitación para los y las trabajadoras. Las campañas educativas tienen el propósito de concientizar a los y las socias de la problemática ambiental de la generación de residuos y la capacitación tiene el objetivo de disminuir la cantidad de residuos evitables.

Se propone separar los residuos en tres fracciones: orgánicos (alimentos y jardinería), inorgánicos valorizables (PET, PEAD, papel y cartón) y todo lo demás. Para lo cual es necesario adecuar el almacén

temporal, colocando espacios reservados para cada tipo de residuo y capacitar al personal de limpieza para que no mezcle los residuos durante la recolección y el almacenaje. Para el tratamiento de los residuos se recomienda el compostaje de una parte de los residuos de jardinería y la venta a un centro de acopio de los residuos inorgánicos valorizables.

Se espera que la implementación del plan de manejo genere costos (instalación de contenedores específicos por tipo de residuo, programa de capacitación, adecuación del centro de acopio, puesta en marcha del sistema de compostaje) y beneficios económicos (venta de residuos inorgánicos valorizables, posible disminución del pago por recolección de residuos, ahorros derivados del sistema de capacitación). Sin embargo, independientemente del balance económico el club está obligado a prevenir la generación de residuos.

Finalmente, se recomienda determinar la generación y composición de los residuos del club en distintas temporadas del año (incluyendo los residuos de jardinería y los sanitarios), para poder estimar de forma más precisa la generación anual. El número de socios y socias que acuden al club puede cambiar de forma significativa durante los periodos vacacionales de educación básica o media superior, afectando la generación y composición de residuos.

Referencias bibliográficas

[1] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT (2015). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. En línea <
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187440/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf>
Recuperado el 26/06/2020

[2] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT (2013) Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

[3] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. DOF, 8 de octubre, México, D.F.

[4] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT, “Plan de Residuos de envases post consumo de PET, PEAD, aluminio y otros de ECOCE. En línea <
<https://www.gob.mx/semarnat/documentos/plan-de-manejo-rme-de-ecoce>> Recuperado el 28/06/2020

[5] González Cardoso, G., Ortiz Sánchez, E. V., Camarillo Lima, C. D., Cisneros Ramos, A. de la L., Espitia Cabrera, A. (2018) “Plan de manejo de residuos peligrosos generados en la industria manufacturera de cigüñales”, Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos, 2018, pp. 317–323.

[6] Barbosa Ramírez, L. A., Fernández García, A. S., Vázquez Morillas, A. (2018) “Plan de manejo de residuos sólidos urbanos en la escuela secundaria general No. 20 ‘Rafael Ramírez’, Tepotzotlán, Estado de México,” in Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos, 2018, pp. 623–642.

[7] Carrillo Ortiz, B. A. (2015) “Diseño de un plan de manejo de residuos sólidos para la primera sección de la unidad habitacional Tlatelolco, Delegación Cuauhtémoc, Distrito Federal,” Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana.

[8] Velasco-Pérez, M., Espinosa Valdemar, R.M., Vázquez-Morillas, A., Rincón Pájaro, A., González Rodríguez, M. G., Sánchez Piña, G. A., Cisneros Ramos, A. de la L. (2019) “Propuesta de plan de manejo para los residuos de un área natural protegida en la zona centro de México,” VIII Simposio Iberoamericano, 2019, pp. 334–342.

- [9] Reglamento del Libro Segundo del Código para la Biodiversidad del Estado de México. (2007). Gaceta del Estado. Estado de México, México. En línea <http://legismex.mty.itesm.mx/estados/leyedm/EM-R-Lib4CodBio2007_05.pdf> Recuperado el 26/06/2020
- [10] Código para la Biodiversidad del Estado de México (2006). Gaceta del Gobierno. Estado de México, México. En línea <<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/321Ley%20de%20Desarrollo%20Forestal%20Sustainable%20del%20Estado%20de%20M%C3%A9xico.pdf>> Recuperado el 26/06/2020
- [11] NMX-AA-019-1985 Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - peso volumétrico "*in-situ*"
- [12] NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - selección y cuantificación de subproductos
- [13] Centro Mario Molina (2015). Estudio de valorización y aprovechamiento de residuos sólidos urbanos en el Estado de México. En línea < https://valorsum.com/wp-content/uploads/2018/06/Producto-6-Plan-GIRSU_VFinal.pdf > Recuperado el 26/06/2020

Análisis de la legislación vigente en materia de residuos en el municipio de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz

¹Dra. Nadia Angélica Cruz Vázquez, ¹MCA. Ana Lizette Sánchez Meza, ²MCA. Erika Fuentes Vergara

¹Facultad de Ciencias Químicas, Región Poza Rica – Tuxpan, Universidad Veracruzana, Prologación Av. Venustiano Carranza s/n Col. Revolución, C.P. 93390, Poza Rica de Hidalgo, Veracruz. Teléfono: 7821152908. Correo electrónico:nadcruz@uv.mx

²Evaluación, Asesoría y Servicios Integrales A.C

Resumen

En este documento se analiza de manera comparativa las dos regulaciones vigentes en el municipio de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz en materia de residuos: el Reglamento Municipal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y el Reglamento Municipal de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente, a través de una revisión bibliográfica llevada a cabo durante la primera quincena del mes de junio de 2020. Se identificaron en ambos reglamentos ambigüedades de conceptos, carencias y regulaciones que caen fuera de la competencia municipal, con lo que se puede concluir que su redacción dificulta su comprensión y por lo tanto su cumplimiento para la sociedad civil y el sector privado; siendo necesario que el Ayuntamiento de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz amplíe la visión de su legislación ambiental en materia de residuos de manera que no solo se homologuen conceptos entre las diferentes regulaciones municipales vigentes, sino que se definan estrategias específicas de gestión ambiental de acuerdo a la problemática existente en el municipio.

Palabras Clave: *Legislación Municipal, Poza Rica, Residuos.*

249

1. Introducción

La legislación es el punto de partida de todo proceso de gestión ambiental, pues nos dicta el “deber ser”. Nos refiere cuáles son los límites máximos o mínimos permisibles, las acciones permitidas o prohibidas para asegurar la protección al medio ambiente; además es una parte fundamental para definir las estrategias y metodologías de acción para cada uno de los actores que intervienen en estas acciones.

Es común analizar la legislación ambiental de índole internacional, federal e incluso la estatal, pero queda pendiente un desarrollo más amplio en la investigación de esta materia en el ámbito municipal [1]. A nivel de leyes, normas y reglamentos ambientales de competencia municipal se observa una problemática recurrente a lo largo del territorio nacional que se refiere a fallos en la aplicabilidad de esta regulación, debido a:

- La falta de objetividad y atención de los lineamientos estatales y federales a la competencia municipal.
- Una mala redacción de la normativa ambiental, que deriva en una ambigüedad en su interpretación.
- La falta de seguimiento del cumplimiento de lo asentado en los lineamientos.

Al analizar las principales problemáticas ambientales a las que se enfrentan los gobiernos municipales en México, uno de ellos es el manejo integral de los residuos, al cual dirigimos el presente análisis.

En México prevalece la disposición final de los residuos en tiraderos a cielo abierto o en rellenos sanitarios, los cuales, generalmente no operan de forma eficiente. La región sur, integrada por Veracruz (donde se ubica el municipio de Poza Rica), Guerrero, Oaxaca y Chiapas, que es donde hay más municipios y que tienen mayor cantidad de localidades menores a 10 mil habitantes, es la región que tiene

la menor cobertura de servicio de recolección de residuos, con 69% [2], presentando mayor problemática en la materia a nivel nacional.

De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), publicada el 8 de octubre de 2003 en el Diario Oficial de la Federación, existen competencias a nivel federal, estatal y municipal en la materia, de acuerdo a los Art. 7, 9 y 10 de esta Ley [3]:

- El manejo, regulación y control de los Residuos Peligrosos (RP) es jurisdicción federal.
- El manejo, regulación y control de los Residuos de Manejo Especial (RME) es jurisdicción estatal.
- El manejo, regulación y control de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es jurisdicción municipal.

Además de lo relacionado con el manejo integral de los RSU, el art. 10 de la LGPGIR [3], que es el artículo que determina las facultades de los Municipios en materia de residuos, otorga también a los gobiernos municipales diversas facultades para el control de RME y de RP, particularmente en lo concerniente a su obligación de llevar un registro de los grandes generadores de los RME dentro de su territorio y participar en el control de RP de microgeneradores (generadores de menos de 40 Kg de RP al año); y sobre esta misma línea, el art. 23 de la LGPGIR [3] también dispone que aquellos RP generados en hogares en cantidades iguales o menores a los 40 Kg anuales deberán ser manejados conforme lo dispongan las autoridades municipales y de acuerdo a los planes de manejo que se establezcan para ello, especificando que la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en coordinación con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios, promoverá acciones tendientes a dar a conocer estos generadores de RP la manera de llevar a cabo el manejo integral de estos.

Todo lo anterior sienta el antecedente de que la legislación ambiental de ámbito municipal debe contener disposiciones de manejo integral no solo para los RSU sino también para los RME y RP en el alcance de sus facultades de acuerdo a la LGPGIR, y que si el manejo integral de los residuos debe abordarse con un enfoque integral que involucre al gobierno, la sociedad, la iniciativa privada, los diferentes sectores económicos que se presentan dentro de cada municipio y hasta organizaciones no gubernamentales, la legislación que se dicte en la materia también debe serlo e incluir todas las acciones de minimización, generación, segregación, recolección, transporte, valorización, tratamiento y disposición final de los residuos.

Con esto, las disposiciones legales en materia de residuos en el municipio de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz son el Reglamento Municipal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz de Ignacio de la Llave (RMPGIRSU) [4], y el Reglamento Municipal de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz de Ignacio de la Llave (RMEEPMA) [5], publicados en la Gaceta Oficial del Gobierno del Estado de Veracruz el 10 de enero de 2019 y el 18 de julio de 2019, respectivamente, siendo ambos promovidos por el actual Ayuntamiento Municipal 2018 – 2021.

De lo anterior, se destaca que la problemática existente en cuanto a manejo de residuos en este municipio planteó a la administración local del municipio de Poza Rica de Hidalgo, Ver. la necesidad de contar con una política ambiental municipal que permitiera direccionar acciones en la materia, por lo que la regulación que antes era el Reglamento Municipal de Limpia Pública se actualizó a Reglamento Municipal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, con la finalidad de homologar esta regulación con las disposiciones declaradas en la legislación federal y estatal.

2. Metodología

Por sus características, el presente análisis constituye una investigación de tipo documental que analiza los dos documentos regulatorios vigentes en materia de residuos para el municipio de Poza Rica, Ver., el RMPGIRSU y el RMEEPMA, con el objetivo de identificar similitudes y discrepancias entre ambas

regulaciones, ya que ambas abarcan en su alcance diferentes etapas de la gestión el manejo integral de los residuos.

La aplicación de análisis documental, legal y comparativo del contenido de las dos regulaciones antes mencionadas se llevó a cabo a través de los siguientes pasos:

1. Análisis del RMPGIRSU y el RMEEPMA mediante la indización y el resumen, para la identificación de los apartados relevantes y la selección de la información relevante para el presente análisis.
2. Análisis de contenido mediante la lectura comprensiva de ambas regulaciones para la identificación de los elementos de análisis más significativos y extraer aquellas ideas y conceptos más relevantes.
3. Análisis crítico comparativo de conceptos y estrategias de gestión relevantes descritos en ambas regulaciones, para lo cual se analizaron ambigüedades, carencias y atribuciones fuera de ley.
4. Establecimiento de conclusiones a partir del análisis de los argumentos presentados.

De lo anterior, se presenta el análisis comparativo de estas dos regulaciones.

3. Resultados

3.1 Identificación de ambigüedad de conceptos y definiciones.

El RMEEPMA categoriza los generadores de RSU dentro del municipio de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz como Generador Micro, Pequeño, Mediano y Grande. Sin embargo, el art. 6 del RMEEPMA plantea 2 definiciones diferentes tanto para el Generador Micro y como para el Generador Pequeño, mismas que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripciones de Generador Micro y Generador Pequeño en el RMEEPMA

Concepto	Fuente	Descripción
Generador Micro de RSU	Art. 6 del RMEEPMA, Fracc. XXXVI	Aquél que genere una cantidad de hasta 400 kilogramos de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida
	Art. 6 del RMEEPMA, Fracc. XXXVII	Aquél que genere una cantidad de hasta 360 kilogramos de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida
Generador Pequeño de RSU	Art. 6 RMEEPMA, fracción XXXVIII	Aquél que genere una cantidad mayor de 400 kilogramos y menor de 10 toneladas de RSU al año o su equivalente en otra unidad de medida
	Art. 6 RMEEPMA, fracción XXXIX	Aquél que genere una cantidad mayor de 360 kilogramos y menor o igual de 3.6 toneladas de RSU al año o su equivalente en otra unidad de medida”

Estas definiciones diferentes para un mismo concepto generan confusión a los particulares dueños de establecimientos al momento de determinar qué tipo de generador son, pero lo más destacable a este respecto es que en todo el RMEEPMA sólo se describe esta categorización de RSU dentro de las definiciones, mientras que en el resto del reglamento no se vuelven a mencionar ni se establecen las

diferencias de derechos y obligaciones entre uno y otro tipo de generador, así que no hay justificación legal para detallar esta clasificación de generadores.

Asimismo, de lo anterior, cabe destacar que, por principios de interpretación legal, los conceptos válidos serían los descritos en el RMEEPMA por ser el documento regulatorio más recientemente publicado.

Continuando con las definiciones del art. 6 del RMEEPMA, existe una incongruencia en la definición de Residuo Peligroso, ya que la fracción LXXV define el concepto de RSU Peligroso como *“todos aquellos RSU en cualquier estado físico, que, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente”*, definición que resulta incongruente con la LGPGIR ya que no existe ese concepto de RSU Peligroso: o es RSU o RP. En este caso, se presume que la intención de este concepto es la definición de los residuos peligrosos que se generan en los hogares, los cuales sí están mencionados en la LGPGIR, en el art. 23, que cita que *“los residuos peligrosos que se generen en los hogares en cantidades iguales o menores a las que generan los microgeneradores ... así como en unidades habitacionales o en oficinas, instituciones, dependencias y entidades ... deberán ser manejados conforme lo dispongan las autoridades municipales responsables de la gestión de los residuos sólidos urbanos y de acuerdo con los planes de manejo que se establezcan siguiendo lo dispuesto en este ordenamiento”*, por lo que este tipo de residuos sí es relevante identificarlos en la regulación municipal. Sin embargo, al mencionar el concepto de “RSU Peligrosos” se genera una combinación de términos que causa una severa confusión.

Ahora bien, en el RMPGIRSU, que es la regulación municipal específica en materia de residuos en Poza Rica de Hidalgo, Veracruz, sí se mencionan los 4 tipos de generadores de RSU descritos en el RMEEPMA (micro, pequeño, mediano y grande), aunque no los describen en su art. 8 donde establecen las definiciones de conceptos pero, a diferencia del RMEEPMA, este reglamento sí las determina a lo largo del documento, así como las diferentes competencias y obligaciones de cada tipo de generador.

Sin embargo, existe una fuerte incongruencia entre la descripción de los Grandes Generadores de RSU descritos en el RMEEPMA y el RMPGIRSU, lo cual se detalla en la Tabla 2:

Tabla 1. Descripciones de Gran Generador de RSU en el RMEEPMA y en el RMPGIRSU

Concepto	Fuente	Descripción
Gran Generador de RSU	Art. 121 del RMPGIRSU, fracción I	Establecimientos tales como aeropuertos, hoteles, hospitales, centros educativos, cadenas comerciales, clubes deportivos, bancos, bares, cantinas, cines, oficinas y restaurantes de más de 5 empleados con una <i>producción superior a 20 kilogramos diarios de residuos sólidos urbanos</i>
	Art. 6 del RMEEPMA, fracción XLI	Persona física o moral que genere una cantidad igual o superior a diez toneladas en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida, siempre que sea igual o <i>supere los 28 kilogramos al día de residuos</i>

De nuevo, se presenta obra inconsistencia de definición par aun mismo término, lo que como comentamos anteriormente genera desconcierto entre los entes sujetos a estas regulaciones ya que si, por ejemplo, la persona física o moral genera, digamos, 25 kilogramos por día, puede ser considerado un Gran Generador de RSU de acuerdo al RMPGIRSU o Pequeño Generador de RSU de acuerdo al RMEEPMA.

Otro punto de confusión en el RMPGIRSU es la referente a su título, ya que su nombre hace alusión específica a la gestión de los RSU, pero en el Título Sexto denominado Otros Residuos Sólidos de este Reglamento el Cap. I se refiere a los Residuos de Manejo Especial (RME) y el Cap. II refiere a los RP, donde se detallan algunas obligaciones de generadores de este tipo de residuos dentro del municipio.

Sobre esta línea de análisis, el art. 98 del RMPGIRSU refiere la conformación de un Padrón Municipal de Generadores de Residuos Sólido Peligrosos, Biológicos e Infecciosos en el municipio de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz, pero se vuelve a presentar una confusión de términos. El nombre del Padrón hace referencia a los RP pero el artículo menciona que los que deben inscribirse a este Padrón son todos los hospitales, clínicas privadas relacionadas con actividades propias de la salud, la estética corporal y la asistencia médica, consultorios donde se ejerzan actividades relacionadas con la salud, veterinarias, centros de salud animal, consultorios, laboratorios clínicos y los de investigación, centros educativos, industrias diversas, talleres mecánicos, además de otros, que por el tipo de residuos que generen “*ya sea residuos de manejo especial, así como peligrosos, tóxicos*” por lo que el padrón referido no es sólo un registro de generadores de RP.

3.2. Identificación de carencias

Dentro de los objetivos del RMPGIRSU (art. 4 fracción IV) se encuentra la valorización de los RSU para su reutilización o reciclaje, pero en todo el lineamiento no se menciona cómo se dará esta valorización, dejando el tema sólo en la recomendación a los generadores de la práctica de la segregación de los RSU en orgánicos e inorgánicos y la separación de aquellos que sean susceptibles de ser valorizados (art. 8 fracción XXXIV y XXXV).

En el art. 46 del RMPGIRSU establece que el gobierno municipal debe promover la participación de todos los sectores de la sociedad en todas las etapas del manejo integral de los residuos, incluida la valorización de los residuos, especificándose en dicho artículo que dentro de las posibles acciones para ello es el celebrar convenios de concertación con organizaciones sociales y privadas (fracción II) y concertar acciones e inversiones en los sectores social y privado, instituciones académicas, grupos y organizaciones sociales y demás personas físicas y morales interesadas (fracción VII); sin embargo, en todo el documento no hay una metodología específica que le permita a la sociedad civil identificar cómo deben actuar para participar en estas acciones.

3.3. Identificación de involucramiento en facultades del poder estatal.

En el art. 47 del RMEEPMA se establece que las partículas y residuos de cualquier tamaño, producto de las edificaciones (construcciones, demoliciones, remodelaciones, ampliaciones o modificaciones parciales o totales de edificios, comercios, casas habitación o similares) deberán depositarse en los lugares que al efecto autorice la Subdirección de Ecología y Medio Ambiente u órgano equivalente, que refiere a una dependencia municipal de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz, lo que representa un involucramiento a una actividad que es competencia estatal, ya que de acuerdo a la fracción V del art. 19 de la LGPGIR, así como lo establece la NOM-161-SEMARNAT-2011, los residuos de la construcción se clasifican como RME, cuyo manejo y control corresponde al poder estatal.

4. Conclusiones

Las discordancias identificadas en los reglamentos analizados tienen origen tanto en la falta de conocimiento en la materia del personal del Ayuntamiento del Municipio de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz, como su falta de visión en el universo legal existente en el municipio, ya que se diseñaron dos documentos que regulan lo mismo, pero hay falta de congruencia entre ellos.

Si bien el municipio de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz cuenta con un Reglamento Municipal específicamente para residuos, el Ayuntamiento Municipal consideró que ciertas disposiciones en la materia también deberían quedar asentadas en el RMEEPMA, pero la repetición de disposiciones legales no asegura su cumplimiento, y en el caso particular del RMEEPMA y el RMPGIRSU, se presentan importantes discrepancias de definiciones de conceptos relevantes en ambas regulaciones que complican

la interpretación e identificación de las obligaciones a atender por los diferentes tipos de generadores de RSU en el municipio.

Mención aparte merece además la falta de descripción de metodologías específicas en estas regulaciones para la valorización de los residuos, y es urgente que el Ayuntamiento del Municipio de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz. amplíe su visión en materia de residuos de manera que no solo se planteen disposiciones de protección al medio ambiente, sino que se delimiten estrategias, procedimientos y programas específicos de gestión ambiental para atacar esta problemática municipal y establecer legalmente las obligaciones y facilidades para asegurar la participación tanto del sector social y público como del privado en estas estrategias.

La legislación ambiental no es el único mecanismo de política ambiental municipal que propicia la adopción de prácticas ambientales en materia de residuos, pero sí es la base para establecer su obligatoriedad. Detalles como una mala redacción, ambigüedad de definiciones o la falta de información dentro estos documentos regulatorios dificultan su comprensión y complican u obstaculizan su atención por parte de la sociedad civil y los sectores público y privado.

Referencias Bibliográficas

- [1] González Oropeza, M., Cienfuegos Salgado D. (2007). *El Municipio en México*. Primera edición. Editora Laguna, S.A. de C.V., México, D.F.
- [2] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2019). *Visión Nacional hacia una Gestión Sustentable. Cero Residuos*. Ciudad de México, México.
- [3] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2003). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre 2003. México, D.F.
- [4] H. Ayuntamiento Constitucional de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz (2019). *Reglamento Municipal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz de Ignacio de la Llave*. Publicado en la Gaceta Oficial del Gobierno del Estado de Veracruz el 10 de enero de 2019. Xalapa, Veracruz.
- [5] H. Ayuntamiento Constitucional de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz (2019). *Reglamento Municipal de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz de Ignacio de la Llave*. Publicado en la Gaceta Oficial del Gobierno del Estado de Veracruz el 18 de julio de 2019. Xalapa, Veracruz.

La inclusión de trabajadores informales del sector de los residuos, a partir de una experiencia de gestión universitaria sustentable.

¹Nancy Merary Jiménez-Martínez

¹ Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-UNAM. Av. Universidad s/n, Circuito 2. C.P. 62210 Col. Chamilpa, Ciudad Universitaria de la UAEM. Cuernavaca, Morelos. México. njimenez@crim.unam.mx

Resumen

En México, como en otros países del Sur Global, los recuperadores informales de residuos desempeñan un papel fundamental en el manejo y aprovechamiento de éstos. Pero, a pesar de generar contribuciones económicas, sociales y ambientales, su actividad es invisibilizada o incluso criminalizada. Las universidades, como grandes generadoras de residuos, están obligadas a cumplir con las responsabilidades administrativas y técnicas que les imponen las leyes así como a emprender las mejores prácticas de gestión ambiental para avanzar hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La inclusión socio-productiva de los trabajadores informales constituye una oportunidad para atender ambos compromisos. En este artículo se presenta la experiencia de inclusión de una asociación civil, que integra trabajadores informales, al programa de manejo integral de residuos sólidos universitarios con enfoque Basura Cero en el campus Morelos de la UNAM.

Palabras Clave: *inclusión socio-productiva, recuperadores informales, sustentabilidad universitaria.*

1. Introducción

A nivel mundial se generan anualmente dos mil millones de toneladas métricas de residuos sólidos urbanos (RSU) [1], de las cuales la tercera parte no se maneja de forma segura y se caracteriza por bajas tasas de cobertura de recolección; métodos de disposición final que no garantizan la protección al medioambiente ni a la salud humana, ya que 33% de los residuos se eliminan en tiraderos a cielo abierto, 29% en vertederos controlados y 7.7% en rellenos sanitarios con captación de biogás; y bajas tasas de valorización, pues sólo 13.5% de los residuos se recupera mediante reciclaje, 11% en incineración y 5.5% en compostaje. Adicionalmente se proyecta que para el 2050 la generación de residuos alcanzará los 3.40 billones de toneladas anuales [2].

La gestión de los residuos se ha vuelto un asunto importante, objeto de preocupaciones crecientes y ha sido retomada como uno de los aspectos de la Agenda Mundial para el Desarrollo Sostenible (2015), tanto por la contaminación que los RSU provocan, como por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que liberan (5% de las emisiones mundiales), principalmente por su confinamiento en botaderos a cielo abierto o en vertederos que no capturan el gas metano [3].

En este sentido, la Agenda 2030, que ha planteado *la protección del planeta contra la degradación y (...) medidas urgentes para hacer frente al cambio climático* [4], ha dirigido dos de sus diecisiete Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) hacia los aspectos relacionados directamente con la gestión de los residuos.

El objetivo once pretende que *las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles* y propone *disminuir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo*. El objetivo doce busca *garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles* y declara como metas conexas *lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales; alcanzar la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida; y reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización* [4].

Aunque la propia Agenda 2030 señala que los ODS y sus metas son universales, admite que su implantación se restringe a las capacidades y los niveles de desarrollo de los países. La gestión de los residuos es uno de estos aspectos marcados por las desigualdades, pues existen diferencias en el manejo de los residuos de acuerdo con el nivel de desarrollo de los países, diferencias que se expresan en sistemas de limpia escasos y precarios en muchos países en desarrollo y sistemas de gestión más sostenibles en las naciones prósperas [2].

La valorización de los residuos es expresión concreta de esta diferenciación. Si bien la fracción de materiales reciclables está positivamente correlacionada con el nivel de ingreso de los países, esto no explica el porqué la mayor parte de los RSU generados en los países ricos se recupera a través del reciclaje (29%), compostaje (6%) o incineración (22%) [2], mientras que la valorización en los países en desarrollo tiene bajas tasas y es predominantemente ejecutada por el sector informal, el cual asciende a 20 millones de personas [5].

El sector informal de los residuos se compone de diferentes actividades como la recolección, transporte, separación y venta de materiales reciclables recuperados de la basura [6]; las personas que obtienen sus ingresos a partir de dichas actividades convinieron autonombrarse “recicladores de base”, en el I Congreso Mundial de Recicladores de Residuos celebrados en Colombia en 2008. En este trabajo se hace referencia a ellos bien como recuperadores informales, bien como recicladores de base.

Su trabajo en países en desarrollo es de suma importancia por los beneficios económicos, sociales y ambientales que producen: son agentes económicos que contribuyen a la generación de autoempleo, *proporcionan materiales reciclables a empresas formales y generan demanda para los proveedores de servicios* [7]; son agentes sociales en tanto ayudan a la salud pública y *mejoran el saneamiento de los hogares y calles, especialmente donde no se prestan estos servicios* o son precarios [8]; y son agentes ambientales que, al recuperar y extraer materiales potencialmente aprovechables de los residuos, *disminuyen la explotación de los recursos naturales y alargan la vida de los sitios de disposición final* [9].

A pesar de estos beneficios y contribuciones, los recicladores de base son invisibilizados, estigmatizados socialmente, y se enfrentan con ambientes de trabajo desfavorables, por los riesgos que su actividad implica y porque frecuentemente padecen restricciones en su posibilidad de obtener los residuos. De modo que su inclusión socio-productiva es un desafío para cumplir con los ODS en muchos países del mundo. Para vencerlo, la tarea de las universidades, en su búsqueda de nuevos paradigmas en favor del bienestar humano, es fundamental.

En primera instancia porque las universidades, mediante la docencia, diseminan los conocimientos necesarios para avanzar hacia el desarrollo sostenible. En segundo lugar, porque mediante la incorporación de *iniciativas de sustentabilidad en el campus, construyen conciencia y fomentan un comportamiento ambientalmente responsable del personal, los estudiantes y de la comunidad más amplia, incluso en su vida cotidiana* [10]. En otras palabras, cuando la universidad asume plenamente su compromiso con el desarrollo sostenible se torna en ejemplo vivo de la sustentabilidad.

Una vez señalado este potencial, y debido a que las universidades también enfrentan el reto de disminuir sus residuos y manejarlos integralmente, se puede advertir que, para las universidades en países en desarrollo, la incorporación de los recicladores de base en esta tarea podría ser favorable, tanto para desarrollar la gestión integral de sus residuos como en la consecución de la sustentabilidad universitaria; sin embargo, el tema ha sido poco explorado.

El objetivo de este artículo es documentar la experiencia de inclusión de una asociación civil, que integra a algunos recuperadores informales, al programa de manejo integral de residuos sólidos universitarios, conocido como “Basura Cero”, y que desde el 2015 se despliega en el campus Morelos de la UNAM, con la intención de que pueda adoptarse para mejorar la gestión de los RSU de los *campi* universitarios y contribuir al cumplimiento de la ley y los ODS.

2. Metodología

El procedimiento empleado para cumplir el objetivo de la investigación y atender sus fines, requirió profundizar en el contexto de la gestión de los RSU en México y específicamente de la situación que viven los recuperadores informales y las problemáticas que experimentan, así como en las particularidades del manejo de los RSU en el campus universitario; para ello se desarrollaron una investigación documental y un trabajo de campo.

La investigación documental precisó del trabajo sistemático de lectura, análisis y síntesis de la información contenida en diferentes documentos escritos, como artículos científicos, leyes, instrumentos normativos, planes y programas gubernamentales, textos de divulgación y notas periodísticas, de los cuales se elaboraron fichas de contenido. Una vez recopilada la información en estas unidades autónomas, se revisaron cuidadosamente sus datos y se clasificaron conforme a dos cuestiones principales: la caracterización de la situación actual de los recicladores de base en el contexto actual del manejo de los RSU y los instrumentos de acción pública desarrollados para mitigar su problemática. Este ordenamiento, a partir de elementos profundamente ligados entre sí y con relación directa a la investigación, permitió también identificar aspectos particulares de ambos temas así como lagunas y omisiones.

La comprensión del objeto de estudio se complementó con un trabajo de campo, en el que se utilizó la observación participante para documentar el programa “Basura Cero”. Este método se caracteriza *por el grado de control que el observador tiene sobre los fenómenos, al estructurar cuidadosamente las categorías de análisis e instrumentar la recopilación de datos, así como controlar el grado de participación en el escenario y la interacción social* [11]. La observación fue controlada, se desarrolló en el campus universitario, escenario del proceso social de interés: la inclusión socio-productiva de los recuperadores informales, y se enfocó tanto en estos trabajadores y los espacios cotidianos donde ejecutan sus actividades, como en los espacios de planeación (juntas semanales y reuniones extraordinarias del equipo Basura Cero) donde se diseñan y deciden los aspectos operativos del programa.

La intención fue identificar *articulaciones significativas* [11] entre lo general, las dificultades experimentadas por estos trabajadores, y lo particular, las potencialidades transformadoras a dichas dificultades coligadas al funcionamiento de “Basura Cero”. Para esta tarea, se elaboraron “Notas de campo” detalladas, con descripciones densas del funcionamiento del programa y su contexto, así como interpretaciones de cómo este proceso social producía nuevas relaciones e intersubjetividades entre “Basura Cero” y la Asociación Civil, y entre estos y la comunidad universitaria.

3. Resultados

3.1 El manejo de los residuos sólidos urbanos en México

En México no se conoce con certeza la cantidad de RSU generados, pero se admite que no todos se recogen. El porcentaje de cobertura de recolección nacional es de 83.9% [12] y se estima que aproximadamente 16% de los residuos quedan en el ambiente sin control [12].

Este servicio público no se presta en 188 municipios [13], por lo que la quema y el abandono de residuos en basureros clandestinos representan las principales prácticas de la población para desecharlos [13]. Mientras que el volumen diario de residuos recolectados asciende a 107'055,547 kg [13], servicio que es ofrecido principalmente por prestadores públicos (87%), en tanto que el servicio privado representa sólo 10% y el social 3% [13].

Aunque la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), publicada en 2003, señala que en México se pretende que los residuos se manejen de manera integral; las actividades de reducción, separación, reutilización y reciclaje con fines de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social, todavía son una asignatura pendiente.

Por ejemplo, sólo 12% del volumen recolectado se recoge de forma selectiva [13], aunque las limitaciones para cumplir la ley se extienden a lo largo de la cadena de manejo; basta analizar el destino final de estos residuos recolectados selectivamente, de los cuales apenas 4.5% es dirigido a actividades de aprovechamiento y valorización, 3% es enviado a plantas de compostaje, 1% a biodigestores y 0.5% a empresas, mientras que el resto va a plantas de transferencia (74%) o directamente al sitio de disposición final (20%) [13]. De modo que los esfuerzos de separación y recolección diferenciada no son suficientes para garantizar el aprovechamiento de los residuos.

Otro de los elementos indispensables para el aprovechamiento y la valorización de los residuos es la disponibilidad de infraestructura, como plantas de tratamiento y centros de acopio. En 2016, únicamente 55 municipios enviaban residuos a plantas de tratamiento y sólo se contaba con 38 de estas instalaciones [14]. Por otra parte, la capacidad instalada en los centros de acopio se redujo drásticamente: de 1060 instalaciones en 2016 pasó a 565 en 2018.

Hasta aquí es posible advertir que en México existen muchas deficiencias en este servicio público, en el que la inclusión socio-productiva formal de los recicladores de base mejoraría el manejo de los RSU; por ejemplo, incrementaría la participación del sector social en el servicio de recolección y ampliaría su cobertura; fortalecería la recolección selectiva; podría representar una alternativa frente a la escasez de infraestructura para el tratamiento; e incrementaría las capacidades y procesos en los centros de acopio, lo que aumentaría las tasas de aprovechamiento y valorización de los residuos.

3.2 Los trabajadores informales y su inclusión socio-productiva.

Se reconoce que son poco más de 90 mil los trabajadores ocupados en este sector a nivel nacional, 87% son hombres y, de acuerdo con el régimen de contratación, 55% corresponden al personal sindicalizado, 25% al de confianza, 12% al eventual, 5% a trabajadores voluntarios, 1% por honorarios y 2% en otro régimen no especificado. La situación de las mujeres es más precaria, una proporción menor se sindicaliza o es de confianza (51% y 24% respectivamente), y en su mayoría son contratadas de manera eventual (17%); 4% son voluntarias, 1% recibe pago por honorarios y 3% está incorporada con otro régimen [13]. De lo que se desprende que una proporción importante de los recursos humanos del sector trabaja de forma irregular. Además, de acuerdo con las estimaciones del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en el 2010 [6], a nivel nacional 28, 417 personas trabajaban informalmente en los residuos, por lo que podría decirse que en el sector de los residuos prevalece la precariedad laboral.

Los recuperadores informales integran el primer eslabón de la cadena del reciclaje en México pero desempeñan su actividad en condiciones deplorables, peligrosas, insalubres, sin reconocimiento social ni derechos laborales, con largas jornadas de trabajo y una constante incertidumbre a mantener el acceso a los residuos y por ende a sus ingresos, los cuales dependen de la venta de dichos materiales, la cual a su vez está condicionada a las fluctuaciones del mercado [15] [16].

Esta situación social dramática, junto con los bajos niveles de eficiencia y efectividad en los que opera el servicio y la exigua participación del sector social en la prestación del mismo, han demostrado que en México la estructura de gestión convencional, aquella que no reconoce la participación de los trabajadores informales, no ha sido suficiente para cumplir con la LGPGIR y con los ODS. Y nos adelanta la urgencia de una reestructuración en el sector, donde la participación de los recicladores de base, debidamente organizados, desempeñaría un papel importante.

Sin embargo, su integración plantea otro desafío para la acción pública, tanto por la insuficiencia de recursos económicos e infraestructura concerniente al manejo de residuos, como de los instrumentos de política pública para incluirlos y organizarlos. Hasta ahora son pocos los países que han avanzado de forma sólida en el desarrollo de políticas inclusivas hacia los recicladores de base, en América Latina destacan Colombia, Ecuador, Argentina, Brasil y Chile.

En Colombia, la inclusión socio-productiva de los recuperadores informales fue dada por su reconocimiento como actores económicos legítimos de la economía formal y empresarios *de los residuos*, así como por el incentivo de formar asociaciones que estarían protegidas al incluirse en los planes locales de gestión de residuos [17].

En Ecuador, con la aprobación del Código Orgánico del Ambiente (CODA) en 2017, se estableció la promoción, formalización, asociación, fortalecimiento y capacitación de los recicladores a nivel nacional y local en el marco de la gestión integral de residuos [18]. Posteriormente, el Proyecto de Ley Orgánica de Reciclaje Inclusivo (2018) implantó un conjunto de mecanismos para atender lo establecido en el CODA y remarcó la importancia del reciclaje inclusivo, no sólo al promover la inclusión de estos recicladores sino al reconocer el valor económico, social, ambiental, político y cultural del oficio [19]. De modo que dicha ley facilita su inclusión, su remuneración y la garantía de sus derechos.

En Argentina a partir de la profunda crisis económica del 2001, que llevara a cien mil personas en el Área Metropolitana de Buenos Aires a la recuperación informal de residuos como medio para ganarse la vida [20], actividad considerada ilícita de conformidad con la ordenanza 33.581, la explosión de esta actividad causó que en 2002 se fundara el Movimiento de Trabajadores Excluidos (MTE), que articuló la acción de diversas Cooperativas de Recuperadores Urbanos en torno a la defensa y a la protección de esta actividad.

Los esfuerzos del MTE culminaron con la publicación de la Ley 992/2, que derogó la ordenanza prohibitiva y reconoció la actividad de los cartoneros, llamándolos Recuperadores Urbanos (RU) e incorporándolos al servicio público de recolección de residuos [21]. Este instrumento jurídico dio origen al Programa de Recuperadores Urbanos, que inició operaciones en 2003 y tuvo bajo su responsabilidad el registro de los RU y la asignación de zonas para el ejercicio de su actividad.

Estos avances, junto con el plan de preselección domiciliaria de residuos, dieron paso a importantes progresos normativos como la Ley 1854, o *Ley Basura Cero* [22], que implantó la gestión integral de residuos como estrategia de política y privilegió la actividad de los cartoneros dentro del servicio de recolección. También la Ley 4120 [23] que regula el servicio de higiene urbana, tanto para las empresas como para los cartoneros, y cuyos efectos más visibles se obtuvieron en 2012 con la celebración de distintos contratos, entre cooperativas de RU y el gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, para la prestación del servicio de recolección.

En Brasil también se han desplegado los instrumentos de política que facilitan la inclusión de los trabajadores informales en el manejo de residuos, como la Política Nacional Brasileña de Residuos Sólidos, la Ley Federal 12.305 de 2010, que reconoce a las cooperativas de recolectores informales como proveedoras autorizadas del servicio de recolección; el establecimiento de un repertorio de instrumentos para respaldarlas e integrarlas a los sistemas municipales de manejo de residuos sólidos [24]; así como el Decreto Federal 5.940 de 2006 que obliga a todas las instituciones federales a implantar una recolección segregada de residuos, y destinar el material reciclable a las organizaciones de recuperadores [25].

En Chile, con la Ley 20.920, se avanzó hacia una gestión adecuada de los residuos, lo que derivó en el establecimiento de distintos mecanismos para formalizar a 60 mil recicladores de base en los sistemas de gestión y mejorar sus competencias técnicas [26]

Estos ejemplos demuestran que, la integración socio-productiva de los recuperadores informales precisa del dictamen de legalidad de esta actividad y de una protección especial a las organizaciones que estos conforman.

México muestra un atraso en la construcción de una acción pública inclusiva. Aunque la propia LGPGIR señala la importancia de fomentar mecanismos de participación corresponsable entre los distintos sectores sociales en el manejo de residuos y sienta las bases para aplicar los principios de manejo integral bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, estas disposiciones han sido letra

muerta. Hasta ahora no se han desarrollado instrumentos de política pública que apoyen, integren, convoquen o reconozcan la participación de grupos sociales organizados en el manejo de residuos.

3.3 El papel de las universidades en la inclusión

El llamado a las universidades a sumarse al desarrollo sostenible tiene varias décadas. La Declaración de Estocolmo en 1972 fue el primer instrumento, firmado por los líderes universitarios, donde se reconocía la interdependencia entre la humanidad y su ambiente y sugería diferentes vías para alcanzar el desarrollo sostenible, entre ellas la educación. Después de ésta, vinieron numerosas declaraciones que subrayaron el papel de las universidades en la promoción y consecución de la sustentabilidad, destacaron las capacidades extraordinarias de estas instituciones y el compromiso ético hacia las sociedades a las que se deben.

Una universidad sustentable es *una institución de educación superior, que en su conjunto o una parte, aborda, involucra y promueve, a nivel regional o global, la minimización de los efectos negativos ambientales, económicos, sociales y de salud generados en el uso de sus recursos para cumplir con sus funciones de enseñanza, investigación, divulgación y asociación, y se gobierna en formas de ayudar a la sociedad a hacer la transición hacia estilos de vida sostenibles* [10]. De tal suerte que la sustentabilidad universitaria cobra sentido al aplicarla dentro y fuera de sus *campi*.

Y a diferencia de la adopción de la sustentabilidad en otras organizaciones, en el caso universitario tiene un carácter especial porque, en sus tareas de enseñanza e investigación, tiene el potencial de catalizar y acelerar transiciones sociales, incluida la sustentabilidad [27], ya que es un agente de cambio que educa y capacita a nuevas generaciones; y porque en su tarea de difusión de la cultura, fomenta un modelo a seguir, al incorporar la sustentabilidad en su territorio institucional, como laboratorio y campo de aplicación. En otras palabras, al desarrollar y proponer soluciones innovadoras en su interior, la universidad ofrece un modelo vivo de sustentabilidad a la sociedad.

260

Por otra parte, las universidades podrían considerarse como municipios o pequeñas ciudades, debido al tamaño de su población, la amplitud de sus *campi* y las distintas actividades que en estos se ejecutan [28], y como tales, enfrentan grandes retos en su operación cotidiana y precisan de distintos tipos de servicios, infraestructura y estrategias de gestión. En cuanto a los RSU, la LGPGIR les atribuye obligaciones administrativas y técnicas para su manejo adecuado, como la exigencia de registrarse ante la autoridad ambiental estatal como grandes generadoras de residuos, así como formular y ejecutar planes de manejo que, bajo principios de manejo integral, definan una estrategia para minimizarlos y valorizarlos.

La instrumentación de sistemas de manejo integral de residuos en los *campi* es una actividad que responde a las obligaciones jurídicas, administrativas y técnicas que conlleva generar grandes cantidades de residuos; a la par que cimienta una de las vías hacia la sustentabilidad universitaria, porque sensibiliza y capacita a su comunidad en un tema ambiental urgente de atender y construye un modelo replicable en otros espacios de la sociedad.

Una universidad sustentable es aquella que muestra una amplia responsabilidad por sus daños y considera el más estricto compromiso con el manejo interno y externo de sus pasivos ambientales y en su gestión cotidiana, procura disminuir sus perjuicios, utilizar eficientemente sus recursos y promover soluciones innovadoras que favorezcan el cumplimiento de sus deberes legales y hacia los ODS.

3.4 El programa Basura Cero en el campus Morelos de la UNAM

El programa de manejo integral de residuos sólidos universitarios con enfoque “Basura Cero” podría considerarse una solución innovadora. Actualmente, es el instrumento con el cual el campus Morelos cumple con las obligaciones de la LGPGIR y una ética universitaria exigente en el manejo de residuos perfilada hacia los ODS.

El primer paso se dio en 2015, con un análisis situacional para diseñar el programa y plantear una solución óptima al campus. En esta etapa de diagnóstico se encontró que el municipio de Cuernavaca no ofrecía un servicio público de recolección diferenciada, por lo cual los residuos recolectados se confinaban en un sitio de disposición final sin oportunidad de valorizarse. También se identificaron varios centros de acopio acreditados por la autoridad ambiental, diversas asociaciones y empresas que ofrecían servicios de recolección, así como centros de acopio particulares donde se compraban y vendían estos materiales. Se hizo un mapeo de estos actores, sus capacidades y su grado de formalización y se identificaron aquellos con quienes se podría colaborar.

A partir de la evaluación de las condiciones y necesidades locales, se estableció que “Basura Cero” sería la estrategia de gestión medioambiental universitaria para *reducir el impacto de la disposición final de residuos generados en el campus; ser ejemplo de compromiso con el ambiente; dignificar y modernizar el sistema de gestión de residuos del campus y recuperar los subproductos de los residuos para incorporarlos a cadenas de reciclaje* [29]. Es decir, se planteó como una de las vías de transición hacia un campus sustentable.

Después de definir los objetivos, y con el fin de avanzar en éstos, se iniciaron diversas transformaciones internas y se establecieron nuevas relaciones e interacciones con agentes sociales externos al campus. De manera interna se asumió el manejo integral mediante cuatro procesos y prácticas asociadas: la separación de residuos en origen, la recolección selectiva, el acopio temporal y la disposición final (que incluye el compostaje interno de los residuos alimenticios). De manera externa, se establecieron distintas relaciones para garantizar la transferencia adecuada y la disminución de la disposición final: para los residuos no valorizables se continuó utilizando el servicio de recolección municipal; para los residuos orgánicos resultantes de las podas de las áreas verdes, se firmó un convenio con el Centro de Compostaje Universitario de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), por el cual, a cambio de un donativo en vales de diésel, el Centro de compostaje recibe estos residuos y devuelve al campus la composta terminada; y para los residuos valorizables se estableció una colaboración con la Asociación Civil “Nosotros Reciclamos”.

“Nosotros Reciclamos” es una asociación civil (AC) sin fines de lucro, fundada y debidamente constituida en 2014 con el objeto de *promover la prevención y control de la contaminación, la protección al ambiente y la preservación y restauración del equilibrio ecológico, a partir de fomentar una conciencia ecológica, una cultura de limpieza y de separación de desechos sólidos reciclables y de crear fuentes de trabajo que ayuden a la preservación del medio ambiente* [30].

En 2016 “Nosotros Reciclamos” contaba con cinco centros de acopio distribuidos en la ciudad y prestaba el servicio de recolección de residuos valorizables a condominios, restaurantes y centros comerciales. Aunque el funcionamiento de cada centro de acopio es autónomo, la venta de los subproductos valorizables es consolidada, situación que les ha permitido generar fuentes de empleo para algunos trabajadores, entre ellos, algunos recuperadores informales.

En la colaboración establecida con la UNAM, “Nosotros Reciclamos” se comprometió a separar correctivamente aquellos residuos erróneamente segregados por los usuarios, pesar los subproductos de los residuos acopiados, entregar un reporte mensual de la cantidad de residuos recuperados en cada centro de acopio, enviar dichos productos a cadenas de reciclaje de empresas locales o regionales y devolver al campus los beneficios de dicha venta. Como a todo proveedor de servicios, el campus les paga a contraprestación de una factura, por lo que en términos administrativos, esta colaboración requirió del alta de la AC como proveedor de la UNAM.

La colaboración con esta asociación ha generado diversos beneficios al campus, pues no sólo ha servido para que 27 228.5 kg de residuos valorizables (de finales de 2016 a marzo de 2020) no llegaran al relleno sanitario y fueran aprovechados en procesos de reciclaje, sino que ha orientado algunas estrategias del programa, por ejemplo, el establecimiento de una separación selectiva acotada a los residuos reciclables

en la región y vinculada al dinamismo del mercado de reciclaje, además su participación se ha extendido al manejo y transferencia adecuados de algunos residuos difíciles de reciclar (como vidrio y envases multicapa) y hacia otros de manejo especial (como pilas, baterías y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos).

Asimismo, esta relación ha ayudado a mantener los datos actualizados y sistemáticos sobre la generación y composición de los residuos y de esta manera evaluar el desempeño del programa y planificar su progreso; además ha permitido identificar la trazabilidad de los residuos (por ejemplo, conocer que los esfuerzos de separación son aprovechados por empresas como Ziklum, Macrolite, Ematec, Mosaicos Venecianos, DeAcero, Industrias Toy y TDR Tecnologías del reciclaje entre otras); y aprovechar las capacidades de los trabajadores de la asociación, con amplia experiencia en los materiales y el mercado del reciclaje.

Sobre las articulaciones significativas entre las dificultades experimentadas por los recuperadores informales y las potencialidades transformadoras, coligadas al funcionamiento de “Basura Cero”, se encontró que hay mejoras en las condiciones de trabajo, pues los trabajadores de la asociación desempeñan sus actividades en centros de acopio ordenados, limpios y seguros; en instalaciones donde se mantienen las condiciones de higiene necesarias para el desempeño de sus actividades y que disminuyen su vulnerabilidad de exposición a riesgos.

De igual manera se reportan beneficios en sus condiciones de ingreso, por una parte porque la colaboración minimiza su incertidumbre por el acceso a los residuos, ya que les garantiza que cada semana obtendrán los residuos del campus; por otra parte, allegarse de materiales reciclables de alta calidad y en cantidades suficientes, los coloca en la capacidad de negociar de mejor manera los precios, condiciones de transferencia y compra con grandes intermediarios o directamente con los recicladores.

Finalmente, la colaboración avanza en el reconocimiento de este oficio y sus contribuciones. Más que considerar a la recuperación como una actividad situada al margen de la gestión de los residuos, en el contexto de “Basura Cero”, ésta se redefine como una acción central, cuya práctica específica dota a quienes la ejecutan de una identidad reformulada: la de operadores ambientales. En este sentido, también podría decirse que hay una transformación intersubjetiva, en la que la comunidad universitaria reconoce a los trabajadores como ejecutores de una tarea benéfica para todos, sin la cual el programa no podría avanzar, por lo tanto se los identifica como parte de “Basura Cero”.

Desafortunadamente en México no hay muchos ejemplos ni experiencias donde las universidades atiendan sus responsabilidades legales y al mismo tiempo avancen en los compromisos hacia los ODS. El ejercicio emprendido por “Basura Cero”, donde la UNAM asumió ambas tareas ha sido exitoso, pues la asociación ha prestado un servicio efectivo, eficiente e inclusivo que la ayuda a avanzar en la sustentabilidad universitaria.

4. Conclusiones

Derivado del análisis del contexto y la estructura del sector de los residuos en México, donde la inclusión socio-productiva de los trabajadores informales se restringe por la falta de instrumentos de acción pública, es urgente promover iniciativas y modelos de gestión innovadores que reviertan esta situación. Para hacerlo, no hay ninguna institución que esté mejor posicionada que las universidades.

Estas instituciones son generadoras de grandes impactos ambientales y, consecuentemente a sus tareas sustantivas y al *ethos* universitario que las define, la observancia legal de sus obligaciones debe ser ejemplar; en tanto que el cumplimiento de sus compromisos hacia los ODS, debe ser innovador, lo que les exige con apremio poner práctica verdaderos modelos sustentabilidad.

La experiencia aquí documentada se adelanta a la búsqueda, diseño e implantación de esquemas de participación pública y social en el sector de los residuos y, a partir de exponer un caso puntual pero eficiente, permite desarrollar el camino de la regulación e inclusión paulatina de los recuperadores informales.

Los factores de éxito en la inclusión de los recicladores de base se articulan en un modelo que combina (1) la contratación de los servicios de recolección de reciclables del campus universitario, otorgada a esta asociación civil, por la cual se garantiza un ingreso base para los trabajadores que en ella laboran; (2) la dignificación de su trabajo a partir de la práctica en condiciones que aseguran su protección e infraestructura que disminuye su vulnerabilidad; (3) el reconocimiento de la importancia de este oficio en relación con los objetivos que la universidad y el programa persiguen, para los cuales su conocimiento de los subproductos valorizables así como su experiencia en el mercado del reciclaje es fundamental; (4) su integración a un proyecto más amplio donde se reconoce sus contribuciones como sujetos sociales y se los incluye sin discriminación ni desigualdad.

Si bien, el lema de una cooperativa de recuperadores bonaerenses indicaba que “la separación en origen es inclusión social”, para una universidad sustentable la sustentabilidad no se limita a que sus residuos sean separados y salgan del campus, sino cuando en su manejo se garantiza un sistema de trabajo incluyente y digno, pues la sustentabilidad universitaria sólo cobra sentido cuando se ejecuta dentro y fuera de sus *campi*.

5. Referencias Bibliográficas

- [1] Organización de las Naciones Unidas. (2019) *Informe de los Objetivos del Desarrollo Sostenible*. ONU, Nueva York.
- [2] Kaza, S., Yao, L., Bhada Tata, P. y F. Van Woerden. (2018) *What a waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, Banco Mundial. Nueva York.
- [3] Banco Mundial. (2018) *The CURB Tool: Climate Action for Urban Sustainability*. Banco Mundial. Washington, DC.
- [4] Organización de las Naciones Unidas. (2015) *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. En línea <https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S> Recuperado 04/05/2020.
- [5] Women in Informal Employment: Globalizing and Organizing. (2013-2017) *Recicladores y derechos humanos*. En línea <<http://espanol.wiego.org/programas-y-temas/derecho-e-informalidad/recicladores-y-derechos-humanos/>>. Recuperado 10/04/2020.
- [6] Banco Interamericano de Desarrollo, Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Organización Panamericana de la Salud. (2010). Informe de la Evaluación Regional del Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe. En línea <<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Informe-de-la-evaluaci%C3%B3n-regional-del-manejo-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-2010.pdf>>. Recuperado 15/07/2020.
- [7] Women in Informal Employment: Globalizing and Organizing. (2014). IEMS “Waste Pickers Sector Report”. En línea <<http://www.inclusivecities.org/iems/iems-sector-reports/iems-waste-pickers-sector-report/>> Recuperado 10/04/2020.
- [8] Buercea, G. (2015) “The economical, social and environmental implications of informal waste collection and recycling” en *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 10:3, 14-24.

- [9] Gunsilius, E., Chaturvedi, B., Scheinberg A. (2011). The Economics of the Informal Sector in Solid Waste Management. En línea <<http://www.giz.de/de/downloads/giz2011-cwg-booklet-economicspects.pdf>> Recuperado 08/05/2020.
- [10] Velázquez, L., Munguía, N., Sánchez, M. (2005) “Deterring sustainability in higher education institutions: An appraisal of the factors which influence sustainability in higher education institutions” en *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 6:4, Pp. 383-391.
- [11] Sánchez, R. (2013) “La observación participante como escenario y configuración de la diversidad de significados” en Tarrés, M. *Observar, escuchar y comprender. Sobre la tradición cualitativa en la investigación social*. El Colegio de México. México. Pp. 93-23
- [12] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020) *Diagnóstico Básico para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*, SEMARNAT. México. En línea <<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>> Recuperado 20/05/2020.
- [13] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019) *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2019*. Tabulados Básicos. INEGI, México.
- [14] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017) *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2017*. Tabulados Básicos. INEGI, México.
- [15] Guillermo Peón, S. y Balderas Castrillo, I. (2020) “La población ocupada en el trabajo informal de recolección de residuos sólidos urbanos en el municipio de Puebla. Características sociodemográficas y condiciones de trabajo” en Estrada, L. *Temas selectos sobre mercados laborales. Problemáticas de actualidad en México*, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y Universidad Autónoma de Baja California, México. Pp. 153- 187.
- [16] Jiménez-Martínez, N. y De Castro Lima, Tribst, C. (2019) “Hacia la construcción de un perfil sociodemográfico de los pepenadores en Cuernavaca: una vulnerabilidad de base económica” en Zanin, M. y Guevara, J. *Catadoras e catadores de materiais recicláveis e a perspectiva social dos resíduos sólidos urbanos. Casos do México e Brasil*, Diagrama Editorial. Brasil. Pp. 60-82.
- [17] Danese, G. y Martínez, C. (2016) “Laws That Enable Partnerships: The Case of Proyecto Pensilvania in Bogotá, Colombia” en *Man and the Economy*, 3:2, Pp. 189-209.
- [18] República del Ecuador. (2017) *Código Orgánico del Ambiente*. En línea <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf> Recuperado 01/06/2020.
- [19] República del Ecuador. (2018) *Proyecto de Ley Orgánica de Reciclaje Inclusivo*. En línea <<https://www.asambleanacional.gob.ec/es/blogs/doris-soliz/59091-proyecto-ley-organica-de-reciclaje-inclusivo>> Recuperado 01/06/2020.
- [20] Suárez, F. (2016) *La Reina del Plata. Buenos Aires: sociedad y residuos*, Ediciones Universidad Nacional de General Sarmiento, Los Polvorines, Argentina. 446 p.
- [21] Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (2002) *Ley N° 992*. En línea <<http://www2.cedom.gob.ar/es/legislacion/normas/leyes/ley992.html>> Recuperado 05/06/2020.
- [22] Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (2005) *Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. En línea <http://www.gestion-consorcios.com.ar/files/LEY_1854_BASURA-CERO_SEPARACION-DE-RESIDUOS_ADMINISTRACION_GORDILLO.pdf> Recuperado 05/06/2020.
- [23] Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (2011) *Ley N°4.120*. En línea <<http://www2.cedom.gob.ar/es/legislacion/normas/leyes/ley4120.html>> Recuperado 05/06/2020.

- [24] Republica de Brasil. (2010) Lei Nº12.305, Política Nacional de Resíduos Sólidos. En línea <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Recuperado 01/06/2020.
- [25] Republica de Brasil (2006) Decreto Nº5.940. En línea <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5940.htm> Recuperado 01/06/2020.
- [26] Rondón Toro, E. y Turcott Cervantes, E. (2017) “Análisis comparativo de la responsabilidad del productor en México y Chile como estrategia para alcanzar la economía circular” en *Memorias del VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos: hacia una Economía Circular*, Santander, España, pp. 372-377. En línea <<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12356/AnalisisComparativoDe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Recuperado 15/07/2020.
- [27] Tangwanichapong S, Nitivattananon V, Mohanty B, Visvanathan C. (2017) “Greening of a campus through waste management initiatives experience from a higher education institution in Thailand”, en *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 18:2, Pp. 203-217.
- [28] Alshuwaikhata, H. y Abubakar, I. (2008) “An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices” en *Journal of Cleaner Production*, 16:16, Pp. 1777-1785.
- [29] Basura Cero, UNAM Campus Morelos. (2020) Página oficial del Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos Universitarios con enfoque Basura Cero. En línea <<http://www.morelos.unam.mx/basuracero/node/32>> Recuperado 15/05/2020.
- [30] Nosotros Reciclamos. (2020) Página oficial de la Asociación civil “Nosotros Reciclamos”. En línea <<http://www.nosotrosreciclamos.org/>> Recuperado 15/05/2020.

Efecto de la bioaugmentación en el rendimiento de metano en un proceso de digestión anaerobia

¹Aixa Kari Gállego Bravo, ²Gloria López Jiménez, ³María Eugenia Gutiérrez Castillo, ⁴Jaime García Mena, ³Luis Raúl Tovar Gálvez

¹Centro Mexicano para la Producción más Limpia, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto S/N, La Laguna Ticomán, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, CDMX, 07340, 5537191741, agallegob1500@alumno.ipn.mx.

²Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto 550, la Laguna Ticomán, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, CDMX, 07340.

³Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, Calle 30 de junio de 1520 s/n, La Laguna Ticomán, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, CDMX, 07340.

⁴Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, San Pedro Zacatenco, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, CDMX, 07360.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue emplear un consorcio microbiano metanogénico, a fin de conocer su efecto en el rendimiento de metano en un proceso de digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. El consorcio fue añadido en diferentes proporciones v/v: 0% (control), 10%, 25%, 50% y 75%. Los resultados arrojaron que en un primer experimento (n=3 en cada tratamiento), se logró un incremento en los rendimientos de metano (4.62 - 7.33%) al emplear 25% o 50% de consorcio, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas con respecto al control. Al incrementar el número de muestras en un segundo experimento (6 muestras más), se encontró que al emplear 50% de consorcio, el rendimiento de metano aumentó en un 22.89% con respecto al control, alcanzando un rendimiento acumulado de 628.33 ml CH₄/ g SV_{añadido}. En términos de Bacteria, prevalecieron los filo *Firmicutes*, *Synergistetes* y *Thermotogae*, los cuales poseen capacidades de participar en la hidrólisis de sustratos orgánicos y/o producir sustratos como el ácido acético y el hidrógeno que los metanógenos utilizan directamente. El consorcio metanogénico estuvo compuesto principalmente por los géneros *Anaerobaculum*, *S1* (*Thermotogaceae*) y *Clostridiales*, estas taxas son conocidas por ser degradadores de compuestos celulíticos y oxidantes de acetato, los cuales hacen sintrofia con los metanógenos hidrogenotróficos.

Palabras Clave: Bioaugmentación, consorcio metanogénico, digestión anaerobia, fracción orgánica, residuos sólidos urbanos.

1. Introducción

En la actualidad, el uso de los combustibles convencionales y el impacto de los gases de efecto invernadero en el medio ambiente, ha llevado a reforzar la investigación relacionada a la producción de combustibles alternativos a partir de recursos biológicos [1]. La producción de biogás mediante digestión anaerobia (DA), es considerada una tecnología sustentable pues proporciona el notable beneficio de generar energía a partir de biomasa, incluidas plantas y residuos vegetales [2], [3].

La DA es el proceso más prometedor y sustentable para el tratamiento de residuos orgánicos, ya que convierte la materia orgánica en energía (en forma de biogás) y digestato. La DA es utilizada para degradar varios tipos de residuos orgánicos, incluyendo biomasa lignocelulósica, residuos de comida, residuos agroindustriales, excretas de animales y lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales [4], [5].

La DA es un proceso bioquímico de múltiples etapas, en donde, macromoléculas se convierten en compuestos más pequeños y finalmente en metano. Los microorganismos son el núcleo de los digestores y

la eficiencia de la DA depende principalmente de una activa comunidad microbiana [6], [7]. El proceso se divide en 4 etapas principales: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, cada una de ellas, llevadas a cabo por diferentes comunidades microbianas específicas [6].

No obstante, la DA a menudo sufre de inestabilidad en el proceso debido a: altos niveles de sustancias tóxicas inorgánicas como amonio, fosfatos, sulfatos o iones de metales, variaciones en los parámetros de operación, como temperatura y pH, así como una falta de equilibrio adecuado entre los grupos microbianos [8]. La bioaumentación puede servir como mecanismo para recuperar la eficiencia de los sistemas debido a la mayor diversidad y abundancia microbiana. Sin embargo, debido a las incertidumbres y riesgos económicos, la bioaumentación se ha investigado únicamente a escala laboratorio, siendo escasa su aplicación a gran escala [9].

La bioaumentación es la adición de cultivos microbianos especializados que generalmente se cultivan por separado en condiciones controladas para realizar una tarea específica en un entorno determinado. Esta técnica se ha considerado como una estrategia útil, ya que desempeña un papel excelente para mejorar el rendimiento y la recuperación en los biosistemas bajo diversas condiciones de estrés. La bioaumentación se ha utilizado para recuperar los digestores de una sobrecarga orgánica, optimizar las tasas de digestión, disminuir el retraso durante el período de inicio del proceso, aliviar la inhibición debido a compuestos tóxicos y mejorar el rendimiento del metano [10] – [12].

En el presente trabajo se utilizó un consorcio microbiano metanogénico (como técnica de bioaumentación) en diferentes proporciones, para conocer su efecto en el rendimiento del metano en un proceso de digestión anaerobia con la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, a nivel laboratorio.

2. Metodología

2.1 Sustrato e Inóculo

El inóculo empleado para realizar las pruebas de DA, fue el lixiviado proveniente de la Planta de Composta de “Bordo Poniente” (PCBP). Previo a su utilización, este se sometió a un proceso de estabilización a 55°C por 15 días. La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), fue usado como sustrato para la realización de los experimentos y fue traída de la misma PCBP. Para correr las pruebas, la FORSU, compuesta principalmente por restos de frutas, verduras y poda, fue cortada en tamaños de partícula de 1-1.5 cm, (2 kg aproximadamente).

2.2 Consorcio metanogénico

El medio de cultivo usado para la preparación del consorcio tuvo la siguiente composición: 1.0 g NH_4Cl , 0.3 g KH_2PO_4 , 0.3 g K_2HPO_4 , 0.2 g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 2.0 g NaCl , 0.1 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.1 g KCl , 0.5 g HCl -cisteína, 1.0 g extracto de levadura, 1.0 peptona, 10 mL solución de elementos traza y 1 mL resazurina en 1 L de agua destilada. El contenido de la solución de soluciones traza por cada litro de agua destilada fue: 2.5 g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.6 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 1.0 g NaCl , 0.1 $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0.1 g $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.01 g AlCl_3 , 0.01 g H_3BO_3 , 0.01 g $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.01 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.1 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 0.1 g ZnCl_2 . El medio se esterilizó a 121°C por 15 min y después se ajustó el pH a 7 con NaHCO_3 10% estéril bajo burbujeo con N_2 [13]. 5 mL del inóculo fueron añadidos en 45 mL de medio estéril e inmediatamente fueron burbujeados con H_2/CO_2 (80%-20%) a 20 psi por 3 minutos. El consorcio fue incubado a 55°C por 4 semanas. Este proceso se realizó varias ocasiones para preservar el consorcio (8 veces).

2.3 Prueba bioquímica de metanización

La prueba bioquímica de metanización (PBM) consistió en conocer la cantidad de metano que un sustrato orgánico puede generar por unidad de masa de sólidos volátiles (SV) añadidos al inicio del experimento. Para la presente experimentación se utilizaron viales de 125 ml con un volumen de trabajo de 60 ml y una

relación sustrato/inóculo 1:1 SV [14], [15]. Para mantener las condiciones anaeróbicas, los viales fueron sellados con septas de goma y anillos de aluminio, además de ser purgados con helio por 15 segundos. Para conocer si el consorcio metanogénico tuvo un efecto en la generación de metano se corrieron 3 grupos diferentes: control, consorcio activo y consorcio estéril. En la tabla 1 se detallan los tratamientos que se emplearon en cada grupo.

El proceso de digestión duró 32 días a condiciones termófilas (55°C) con agitación constante (70 rpm). Cada tratamiento tuvo un triplicado, además de que la caracterización de cada tratamiento se realizó al inicio y al final del proceso. La generación y composición de biogás se realizó cada tres días.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos empleados para la bioaumentación

Grupo	Tratamiento	Abreviación	Descripción
Control	Negativo	CN	Inóculo + agua
	Positivo	CP	Inóculo + celulosa
	Consortio 0%	C_00	Inóculo + FORSU
Consortio activo	Consortio 10%	C_10	Inóculo + FORSU + cultivo activo 10% v/v
	Consortio 25%	C_25	Inóculo + FORSU + cultivo activo 25% v/v
	Consortio 50%	C_50	Inóculo + FORSU + cultivo activo 50% v/v
	Consortio 75%	C_75	Inóculo + FORSU + cultivo activo 75% v/v
Consortio estéril	Consortio 10%	CE_10	Inóculo + FORSU + cultivo estéril 10% v/v
	Consortio 25%	CE_25	Inóculo + FORSU + cultivo estéril 25% v/v
	Consortio 50%	CE_50	Inóculo + FORSU + cultivo estéril 50% v/v
	Consortio 75%	CE_75	Inóculo + FORSU + cultivo estéril 75% v/v

2.4 Métodos de análisis

A cada uno de los tratamientos se les determinó pH, potencial óxido reducción (ORP), conductividad eléctrica (CE), sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV). Para la medición de pH y ORP se empleó el potenciómetro Hanna Instruments HI98191 y para el caso de la CE se utilizó el electrodo Hanna Instruments HI99300 haciendo una dilución 1:40.

La determinación de sólidos se realizó mediante la técnica gravimétrica. En el caso de ST las muestras se secaron a 70°C por 24 horas, y para los SV las muestras secas se calcinaron a 550°C por 2 horas.

La composición del biogás se determinó empleando un cromatógrafo de gases (Perkin Elmer Autosystem, Waltham, MA, USA) con un detector de conductividad térmica (TCD), equipado con la columna Porapak QS SS 80/100 12' x 1/8" x 0.085" (Alltech), y usando helio como gas de arrastre a un flujo de 35 mL/min. Asimismo, la generación se midió mediante desplazamiento de columna [16], [17].

2.5 Análisis de comunidades microbianas

Para el análisis de comunidades microbianas, se examinaron únicamente los siguientes tratamientos: CN, C00, C10, C25, C50, C75, por contener los metanógenos activos, además del consorcio microbiano metanogénico. Las muestras se recolectaron a los días 0, 17 y 32 del proceso de DA (inicio, durante y final del tratamiento). Cada muestra se analizó por triplicado.

Primeramente, se realizó la extracción de ADN total de cada muestra utilizando el kit (DNeasy PowerLyzer PowerSoil Kit 100, Cat# 12855-100, QIAGEN, Germany) siguiendo las instrucciones del

fabricante. Posteriormente, se cuantificaron las concentraciones de ADN y se evaluó su integridad (coeficiente A260/280) usando el espectrofotómetro Nanodrop 2000 Spectrophotometer (Thermo Scientific, USA).

Para la generación de genotecas del gen 16S ADNr se utilizaron los siguientes primers para bacterias: V3-341F y V3-518R para la región hipervariable V3. Los primers tienen una región específica que reconoce las muestras durante el proceso de secuenciación masiva, llamados Barcode. La PCR se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones: desnaturalización a 95°C por 5 minutos, seguido de 25 ciclos de desnaturalización a 94°C por 15 seg, alineamiento a 62°C por 15 seg y extensión a 72°C por 15 seg, con una extensión final a 72°C por 7 minutos.

Se hizo el análisis y acondicionamiento de cada genoteca de las muestras para su secuenciación en el equipo Ion Torrent utilizando el Chip 318. El archivo de secuencias fue analizado utilizando QIIME2 pipeline versión 2019.10 y comparado con la base de datos 16S ADNr GreenGenes.

Los resultados que arroja esta técnica corresponden a 6 niveles taxonómicos (Filum, Clase, Orden, Familia, Género y Especies).

2.6 Análisis estadísticos

Para los parámetros fisicoquímicos y los rendimientos tanto de biogás y metano, se realizaron las pruebas de ANOVA unifactorial, para conocer si existe diferencia significativa entre grupos. La diferencia estadísticamente significativa se consideró cuando $p < 0.05$.

3. Resultados y discusión

3.1 Rendimiento de metano

Para determinar los rendimientos, la generación de metano del control negativo se restó a los demás tratamientos. En la figura 1 se muestran los resultados del rendimiento de metano al emplear las diferentes proporciones del consorcio metanogénico, y en sus dos condiciones (activo y estéril). La figura 1A muestra los rendimientos diarios, mientras que en la figura 1B muestra los rendimientos acumulados.

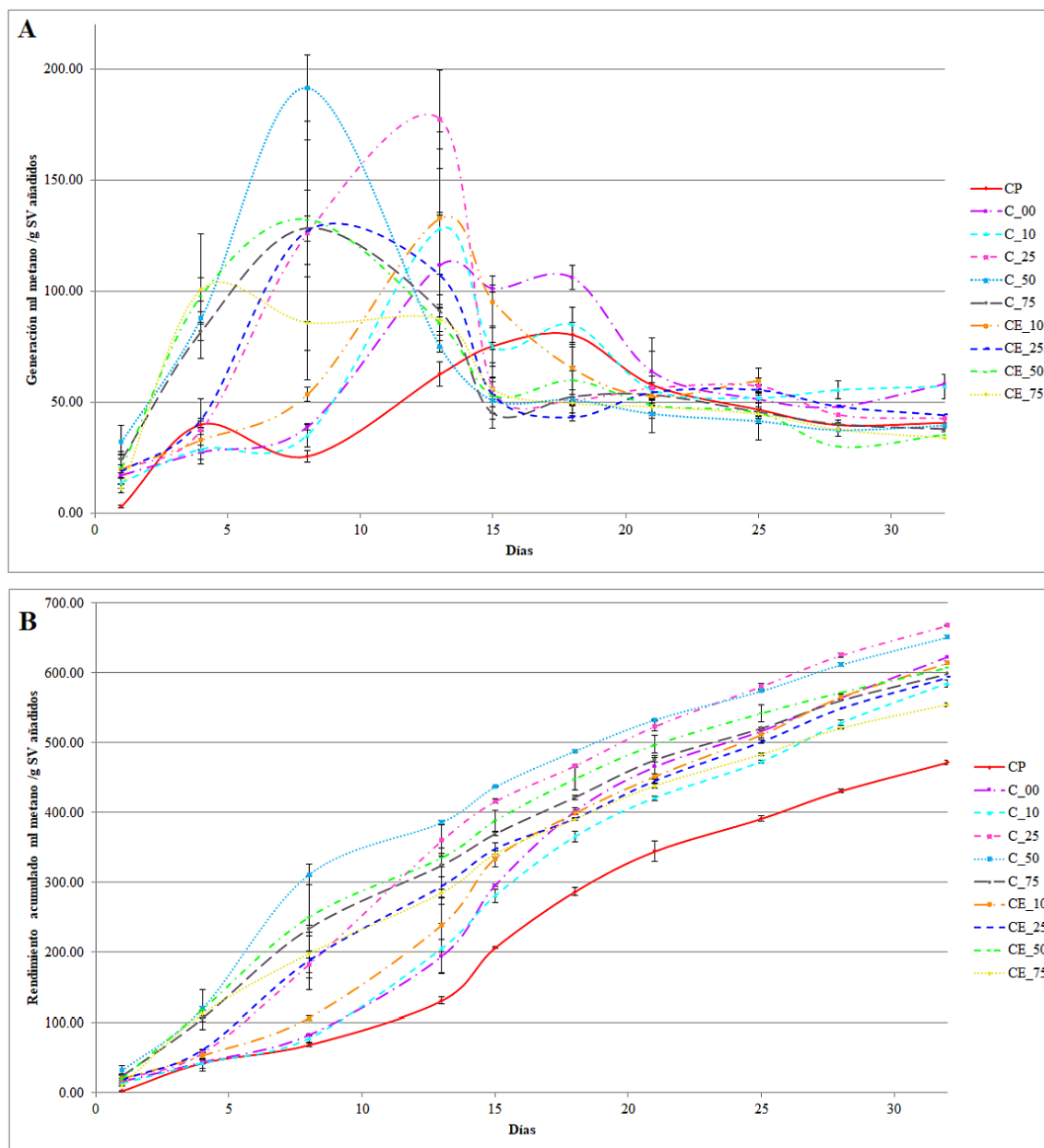


Figura 9. A) Rendimientos diarios de metano. B) Rendimiento acumulado de metano.

Se puede observar que el tratamiento C_50 tuvo su pico de generación al día 8 (116.96 ml CH₄/ g SV_{añadido}) mientras que C_25 al día 13 (108.62 ml CH₄/ g SV_{añadido}). Los demás tratamientos tuvieron un rendimiento máximo de entre 17.02 – 81.55 ml CH₄/ g SV_{añadido} durante el periodo de los días 8 al 13. Cabe resaltar que el tratamiento C_50 para el día 13 tuvo una caída considerable de generación, alcanzando un valor de 46.33 ml CH₄/ g SV_{añadido}, mientras que C_25 tuvo su caída al día 15 (35.51 ml CH₄/ g SV_{añadido}). En el resto de los tratamientos, el rendimiento de metano fue decreciendo a partir del día 18.

En términos de rendimiento acumulado, el tratamiento C_25 tuvo la mayor generación de metano con 668.52 ml CH₄/ g SV_{añadido} seguido de C_50 con 651.64 ml CH₄/ g SV_{añadido}. Entre todos los rendimientos

alcanzados únicamente existió diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el control positivo (CP) vs C_25 y CP vs C_50.

Por otra parte, existió un incremento en la generación de metano con respecto al tratamiento control (C_00) de un 7.33% con el tratamiento C_25 y de un 4.65% con C_50, mientras que con el resto de los tratamientos hubo un decremento, siendo CE_75 quien presentó un menor rendimiento con -10.96% de producción de metano con respecto al control (C_00).

Dado que en este primer experimento no se encontraron diferencias significativas en los rendimientos de metano, se procedió a realizar otros dos experimentos independientes únicamente probando los tratamientos C_00, C_25 y C_50. En la figura 2 se muestran los rendimientos de metano de los 3 tratamientos. Se puede apreciar, que los rendimientos del metano de C_00, C_25 y C_50 fueron, 511.28, 614.76 y 628.33 ml CH₄/ g SV_{añadido}, respectivamente, habiendo una diferencia significativa entre C_00 y C_50. Finalmente se pudo concluir que C_50 tuvo un incremento de 22.89% con respecto al control.

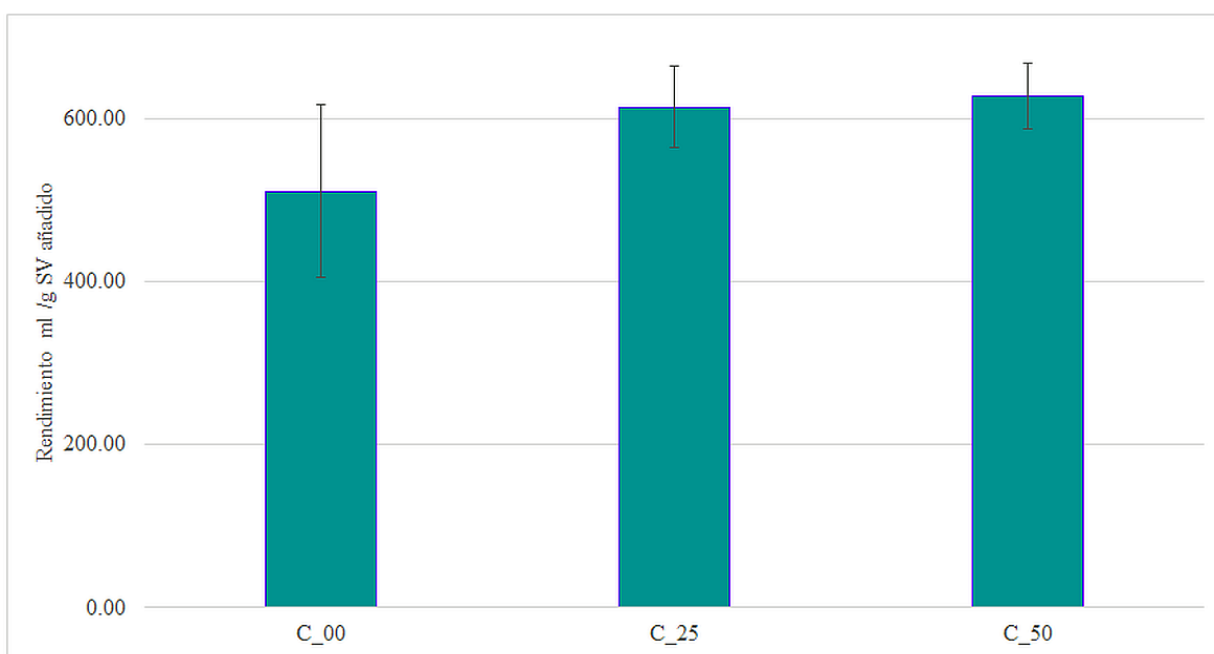


Figura 10. Rendimientos de biogás y metano de 3 experimentos.

3.2 Caracterización del digestato

En términos de los parámetros fisicoquímicos obtenidos al final del experimento, se encontró que el pH de todos los tratamientos fue ligeramente alcalino (7.80 – 8.49), mientras que el ORP no fue tan reducido como se esperaba, el valor más negativo (más reducido) se encontró en el tratamiento CE_10 (-103.75 mV) y el tratamiento que obtuvo incluso valores positivos (entrada de oxígeno) fue C_75 con un valor de 5.40 mV. La mayor reducción de SV se vio reflejada en el tratamiento CE_50 (75.80%). En cuanto a los tratamientos que obtuvieron mejores rendimientos de metano se encontró que en C_25 la reducción fue de 67.95% y en C_50 fue de 71.10%, la menor reducción se encontró en CP con 31.18%. En cada uno de los parámetros se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Características físicoquímicas del digestato.

Tratamientos	pH	ORP (mV)	CE (mS/cm)	ST (g/kg)	SV (g/kg)	Relación VS/TS (%)	Reducción de SV (%)
CP	8.49 ± 0.06	-43.60 ± 9.32	47.67 ± 2.88	31.27 ± 4.33	15.02 ± 2.00	48.40 ± 6.94	31.18 ± 8.18
C_00	8.45 ± 0.03	-83.70 ± 0.90	51.15 ± 6.28	22.54 ± 4.66	7.71 ± 0.83	34.79 ± 5.32	63.12 ± 8.63
C_10	8.20 ± 0.10	-33.17 ± 3.35	46.29 ± 4.97	17.27 ± 1.50	4.06 ± 0.45	23.51 ± 0.69	72.50 ± 1.06
C_25	8.21 ± 0.11	-21.23 ± 1.45	38.12 ± 5.29	21.45 ± 1.22	5.04 ± 0.33	23.50 ± 1.41	67.95 ± 6.30
C_50	7.91 ± 0.07	-5.45 ± 1.25	30.18 ± 1.06	12.19 ± 1.10	2.98 ± 0.30	24.42 ± 0.26	71.10 ± 0.41
C_75	7.82 ± 0.04	5.40 ± 1.20	22.71 ± 3.00	7.25 ± 1.04	1.67 ± 0.28	22.92 ± 0.78	73.38 ± 1.17
CE_10	8.38 ± 0.05	-103.75 ± 20.55	41.61 ± 4.35	19.21 ± 1.08	4.21 ± 0.26	21.89 ± 0.21	74.93 ± 0.30
CE_25	8.28 ± 0.05	-54.73 ± 8.35	36.82 ± 4.50	17.56 ± 0.83	3.92 ± 0.41	22.31 ± 1.55	74.51 ± 2.66
CE_50	7.80 ± 0.48	-69.45 ± 3.95	27.88 ± 3.52	10.42 ± 0.90	2.23 ± 0.41	21.25 ± 2.16	75.80 ± 3.07
CE_75	7.81 ± 0.02	-53.37 ± 3.07	16.98 ± 2.02	7.97 ± 1.25	1.92 ± 0.43	23.84 ± 2.01	71.94 ± 3.07
Valor de <i>p</i>	0.002 ^a	<0.001 ^a	<0.001 ^b	0.001 ^a	0.001 ^a	0.012 ^a	<0.001 ^b

ORP: potencial óxido-reducción; CE: conductividad eléctrica; ST: sólidos totales; SV: sólidos volátiles; CP: Control Positivo; C_00: Control sin cultivo; C_10: 10% cultivo vivo; C_25: 25% cultivo vivo; C_50: 50% cultivo vivo; C_75: 75% cultivo vivo; CE_10: 10% cultivo estéril; CE_25: 25% cultivo estéril; CE_50: 50% cultivo estéril; CE_75: 75% cultivo estéril. a: Kruskal-Wallis; b: ANOVA-Unifactorial.

En cuanto a la caracterización de las comunidades microbianas, únicamente se analizaron aquellos tratamientos que tuvieron el consorcio activo, así como el control negativo y el tratamiento sin bioaumentación. Cabe resaltar que hasta el momento se han realizado los análisis pertinentes relacionados al reino de las Bacterias. En la figura 3 se presentan los datos de las taxas encontradas durante el proceso de digestión anaerobia. En las gráficas se muestran 3 barras por cada tratamiento, las cuales representan los días de toma de muestra, es decir día 0, 17 y 32. Además, cada barra expone el promedio de 3 réplicas. La figura 3A presenta los fila bacterianos, mientras que en la figura 3B se muestran los datos hasta el nivel de especie.

En la figura 3A se encontró que en todos los tratamientos y en todos los periodos de muestreo, los fila más predominantes fueron *Firmicutes*, seguido de *Thermotogae* y *Synergistetes*. La figura 3B muestra las taxas bacterianas más abundantes, considerando desde clases hasta especies. El orden *MBA08* de la clase *Clostridia*, la familia *Lachnospiraceae* y los géneros *Cellulosibacter alkalithermophilus*, *Clostridium*, *DeFluviitalea saccharophila*, *Anaerobaculum* y *S1* (familia *Thermotogaceae*) predominaron en todos los tratamientos.



Figura 11. Abundancia relativa A) *Fila bacterianos dominantes*. B) *Taxas dominantes hasta especies*

Los residuos orgánicos que provienen de la PCBP pueden considerarse como un buen sustrato para su tratamiento mediante DA, pues su contenido de materia orgánica es de aproximadamente 90% (relación SV/ST), este valor se encuentra acorde con los valores descritos en la revisión bibliográfica de [18]. En esta misma revisión, se menciona que los residuos tanto de cocina (restaurantes, hoteles, comedores, cocinas domésticas y comerciales) como de vegetales y frutas, los rendimientos de metano oscilan entre 267 – 859 ml CH₄/ g SV_{añadido}, al ser tratados en procesos de DA como sustrato único.

Los resultados de esta investigación arrojaron que la bioaumentación realizada con metanógenos hidrogenotróficos, efectivamente aumentó el rendimiento de metano hasta en un 22.89%, al usar una proporción 50% v/v inóculo/consorcio, alcanzando un rendimiento acumulado de 628 ml CH₄/ g SV_{añadido}. Estos resultados son comparables con aquellos realizados por [19], en donde se encontró un incremento del 39% en el rendimiento de metano en un proceso termofílico de residuos agroindustriales, empleando la

cepa *Clostridium thermocellum* en un 20% v/v, sin embargo, aunque el porcentaje de incremento fue mayor que el obtenido en este trabajo, su rendimiento acumulado fue de 478 ml CH₄/ g SV_{añadido}. [20] emplearon como técnica de bioaumentación el uso de diferentes excretas de animales (herbívoros, carnívoros y omnívoros) al tratar residuos de comida. Existió un incremento del 11% en el rendimiento de metano en comparación con el control, alcanzando un máximo de 564 ml CH₄/ g SV_{añadido} cuando se empleó excreta de jirafa al 30% v/v. Este valor de rendimiento es similar al obtenido en el presente, muy probablemente por tratar un tipo de residuos parecidos.

Un resultado que destacó en el experimento de bioaumentación, fue que el pico de generación de metano de C_50 se presentó días antes (día 8) que el tratamiento control (día 13 y 18), por lo que se intuye que la adición del consorcio contribuyó a acortar la fase de adaptación de los microorganismos durante la degradación anaeróbica, lo cual puede ser relevante para reducir el tiempo de retención del sustrato en los reactores de biogás [21].

El propósito de usar el consorcio estéril como otra condición de bioaumentación, fue saber si los nutrientes del medio de cultivo, así como la biomasa pueden beneficiar el crecimiento microbiológico [22], no obstante, se encontró que en todos los tratamientos en donde se usó el consorcio estéril hubo una consecuencia negativa, resultando en una disminución en la producción de metano (-1.33% a -10.96%) con respecto al control (C_00).

Para que el proceso de DA sea efectivo, es necesario un adecuado balance entre los microorganismos. Los resultados muestran que, en términos de Bacteria, los fila *Firmicutes*, *Synergistetes* y *Thermotogae* predominaron a lo largo del proceso. El filum *Firmicutes* el cual predominó, se caracteriza por contener microorganismos que poseen capacidades en descomposición de sustratos orgánicos y fermentación en sistemas donde los sustratos contienen biomasa lignocelulósica [5], [23]. El filum *Synergistetes* puede producir una gama de ácidos orgánicos que son procesados por otras bacterias, o producir metabolitos como el ácido acético y el hidrógeno que los metanógenos utilizan directamente [24], mientras que el filum *Thermotogae* degrada acetato sintróficamente con los metanógenos hidrogenotróficos y se ha encontrado en digestores termófilos que tratan residuos sólidos orgánicos, residuos de comida, aguas residuales [7], [25].

Las taxas que coincidieron tanto en el consorcio metanogénico como en los tratamientos fueron: la clase *Clostridia*, los órdenes *Clostridiales* y *MBA08*, la familia *D2* (clase *Clostridia*) y los géneros *Clostridium*, *Clostridium thermopalmarium*, *Anaerobaculum* y *S1* (familia *Thermotogaceae*). No obstante, únicamente los géneros *Clostridium*, *Anaerobaculum* y *S1* tuvieron una tendencia al alza en abundancia conforme al paso del tiempo y a las proporciones.

El género *Clostridium* posee actividades celulolíticas extremadamente altas, además de que actúan como bacterias oxidantes de acetato (acetato a H₂ y CO₂) [19], [26], y debido a estas características, este género ha sido ampliamente utilizado como técnica de bioaumentación en residuos lignocelulósicos [1], [3], [27].

El género *Anaerobaculum* puede degradar compuestos orgánicos complejos en acetato, H₂ y CO₂ [28], [29], mientras que el género *S1*, aunque no ha sido ampliamente estudiado se presume que es una bacteria oxidante de acetato [30], [31].

Conociendo las características de las taxas mencionadas, se puede aseverar que los microorganismos contenidos en el consorcio jugaron un papel importante para mejorar el rendimiento del metano.

4. Conclusiones

La bioaumentación como técnica de mejora del rendimiento de metano resultó benéfica en este trabajo, pues en promedio, existió un aumento del 22.89% con respecto al control, al usar una proporción de 50% v/v inóculo/consorcio.

Los microorganismos presentes en el consorcio metanogénico poseen capacidades para degradar compuestos celulolíticos y/o actúan como oxidantes de acetato, los cuales juegan un papel de sintrofia con los metanógenos hidrogenotróficos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Peng, X., Börner, R. A., Nges, I. A., & Liu, J. (2014). Impact of bioaugmentation on biochemical methane potential for wheat straw with addition of *Clostridium cellulolyticum*. *Bioresource Technology*, 152, 567–571. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.11.067>
- [2] Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45(February), 540–555. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>
- [3] Strang, O., Ács, N., Wirth, R., Maróti, G., Bagi, Z., Rákhely, G., & Kovács, K. L. (2017). Bioaugmentation of the thermophilic anaerobic biodegradation of cellulose and corn stover. *Anaerobe*, 46, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2017.05.014>
- [4] Campuzano, R., & González-Martínez, S. (2016). Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review. *Waste Management*, 54, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.016>
- [5] Lin, L., Xu, F., Ge, X., & Li, Y. (2018). Improving the sustainability of organic waste management practices in the food-energy-water nexus: A comparative review of anaerobic digestion and composting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89(February), 151–167. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.025>
- [6] Wang, P., Wang, H., Qiu, Y., Ren, L., & Jiang, B. (2018). Microbial characteristics in anaerobic digestion process of food waste for methane production—A review. *Bioresource Technology*, 248, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.152>
- [7] Xu, R., Zhang, K., Liu, P., Khan, A., Xiong, J., Tian, F., & Li, X. (2018). A critical review on the interaction of substrate nutrient balance and microbial community structure and function in anaerobic co-digestion. *Bioresource Technology*, 247(June 2017), 1119–1127. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.095>
- [8] Nzila, A. (2017). Mini review: Update on bioaugmentation in anaerobic processes for biogas production. *Anaerobe*, 46, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2016.11.007>
- [9] Romero-Güiza, M. S., Vila, J., Mata-Alvarez, J., Chimenos, J. M., & Astals, S. (2016). The role of additives on anaerobic digestion: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1486–1499. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.094>
- [10] Fotidis, I. A., Wang, H., Fiedel, N. R., Luo, G., Karakashev, D. B., & Angelidaki, I. (2014). Bioaugmentation as a Solution To Increase Methane Production from an Ammonia-Rich Substrate. *Environmental Science & Technology*, 48(13), 7669–7676. <https://doi.org/10.1021/es5017075>
- [11] Lebiocka, M., Montusiewicz, A., & Cydzik-Kwiatkowska, A. (2018). Effect of Bioaugmentation on Biogas Yields and Kinetics in Anaerobic Digestion of Sewage Sludge. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8), 1717. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081717>
- [12] Yang, Zhiman, Guo, R., Xu, X., Wang, L., & Dai, M. (2016). Enhanced methane production via repeated batch bioaugmentation pattern of enriched microbial consortia. *Bioresource Technology*, 216, 471–477. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.062>

- [13] Fernández Linares L.C., Rojas Avelizapa N.G., Roldán Carrillo T.G., Ramírez Islas M.E., Zegarra Martínez H.G., Uribe Hernández R., Reyes Ávila R.J., Flores Hernández D. y Arce Ortega J.M. (2006) *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Instituto Mexicano del Petróleo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- [14] Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J. L., Guwy, A. J., Kalyuzhnyi, S., Jenicek, P., & van Lier, J. B. (2009). Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Science and Technology*, 59(5), 927–934. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.040>
- [15] Holliger, C., Alves, M., Andrade, D., Angelidaki, I., Astals, S., Baier, U., Bougrier, C., Buffière, P., Carballa, M., de Wilde, V., Ebertseder, F., Fernández, B., Ficara, E., Fotidis, I., Frigon, J.-C., de Lacroix, H. F., Ghasimi, D. S. M., Hack, G., Hartel, M., ... Wierinck, I. (2016). Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Science and Technology*, 74(11), 2515–2522. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.336>
- [16] Kawai, M., Nagao, N., Tajima, N., Niwa, C., Matsuyama, T., & Toda, T. (2014). The effect of the labile organic fraction in food waste and the substrate/inoculum ratio on anaerobic digestion for a reliable methane yield. *Bioresource Technology*, 157, 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.018>
- [17] Martin-Ryals, A., Schideman, L., Li, P., Wilkinson, H., & Wagner, R. (2015). Improving anaerobic digestion of a cellulosic waste via routine bioaugmentation with cellulolytic microorganisms. *Bioresource Technology*, 189, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.069>
- [18] Bong, C. P. C., Lim, L. Y., Lee, C. T., Klemeš, J. J., Ho, C. S., & Ho, W. S. (2018). The characterisation and treatment of food waste for improvement of biogas production during anaerobic digestion – A review. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1545–1558. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.199>
- [19] Ecem Öner, B., Akyol, Ç., Bozan, M., Ince, O., Aydin, S., & Ince, B. (2018). Bioaugmentation with *Clostridium thermocellum* to enhance the anaerobic biodegradation of lignocellulosic agricultural residues. *Bioresource Technology*, 249, 620–625. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.040>
- [20] Ariunbaatar, J., Ozcan, O., Bair, R., Esposito, G., Ball, R., Lens, P. N. L., & Yeh, D. H. (2017). Bioaugmentation of the anaerobic digestion of food waste by dung of herbivore, carnivore, and omnivore zoo animals. *Environmental Technology*, 0(0), 1–11. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1305002>
- [21] Akyol, Ç., Ince, O., Bozan, M., Ozbayram, E. G., & Ince, B. (2019). Fungal bioaugmentation of anaerobic digesters fed with lignocellulosic biomass: What to expect from anaerobic fungus *Orpinomyces* sp. *Bioresource Technology*, 277(January), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.024>
- [22] Li, Y., Yang, G., Li, L., & Sun, Y. (2018). Bioaugmentation for overloaded anaerobic digestion recovery with acid-tolerant methanogenic enrichment. *Waste Management*, 79, 744–751. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.043>
- [23] Wu, L., Yang, Y., Chen, S., Zhao, M., Zhu, Z., Yang, S., Qu, Y., Ma, Q., He, Z., Zhou, J., & He, Q. (2016). Long-term successional dynamics of microbial association networks in anaerobic digestion processes. *Water Research*, 104, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.07.072>
- [24] Ferguson, R. M. W., Coulon, F., & Villa, R. (2018). Understanding microbial ecology can help improve biogas production in AD. *Science of the Total Environment*, 642, 754–763. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.007>
- [25] Ghanimeh, S. A., Al-Sanioura, D. N., Saikaly, P. E., & El-Fadel, M. (2018). Correlation between system performance and bacterial composition under varied mixing intensity in thermophilic anaerobic

digestion of food waste. *Journal of Environmental Management*, 206, 472–481. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.062>

[26] Yang, Ziyi, Wang, W., Liu, C., Zhang, R., & Liu, G. (2019). Mitigation of ammonia inhibition through bioaugmentation with different microorganisms during anaerobic digestion: Selection of strains and reactor performance evaluation. *Water Research*, 155, 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.048>

[27] Tsapekos, P., Kougias, P. G., Vasileiou, S. A., Treu, L., Campanaro, S., Lyberatos, G., & Angelidaki, I. (2017). Bioaugmentation with hydrolytic microbes to improve the anaerobic biodegradability of lignocellulosic agricultural residues. *Bioresource Technology*, 234, 350–359. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.043>

[28] Tyagi, V. K., Fdez-Güelfo, L. A., Zhou, Y., Álvarez-Gallego, C. J., Garcia, L. I. R., & Ng, W. J. (2018). Anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): Progress and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93(June 2017), 380–399. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.051>

[29] Zamanzadeh, M., Hagen, L. H., Svensson, K., Linjordet, R., & Horn, S. J. (2016). Anaerobic digestion of food waste - Effect of recirculation and temperature on performance and microbiology. *Water Research*, 96, 246–254. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.058>

[30] Li, D., Ran, Y., Chen, L., Cao, Q., Li, Z., & Liu, X. (2018). Instability diagnosis and syntrophic acetate oxidation during thermophilic digestion of vegetable waste. *Water Research*, 139, 263–271. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.019>

[31] Li, Y.-F., Nelson, M. C., Chen, P., Graf, J., Li, Y., & Yu, Z. (2015). Comparison of the microbial communities in solid-state anaerobic digestion (SS-AD) reactors operated at mesophilic and thermophilic temperatures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(2), 969–980. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6036-5>

Riesgo por el mal manejo de los residuos peligrosos en la Zona Metropolitana de Guadalajara

¹Beatriz Adriana Venegas Sahagún; ¹ Héctor Salvador Portocarrero Enríquez

¹ Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, Periférico Norte N° 799, Núcleo Universitario Los Belenes, C.P. 45100, Zapopan, Jalisco, México. +52 (33) 3770 3300 ext. 25733, beatriz.adriana@cucea.udg.mx

Resumen

El mal manejo de los Residuos Peligrosos tiene repercusiones negativas a la salud de la población y al medio ambiente. Esta investigación tiene como objetivo analizar el impacto y riesgo ambiental y a la comunidad de una empresa que recibe en sus instalaciones RP, los cuales son baterías que ya fueron utilizadas por el consumidor y por lo tanto funciona como centro de acopio temporal y estación de transferencia, a su vez, se expone la problemática que se puede generar por el mal manejo de estos residuos dentro de una empresa que está instalada en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Para la realización de esta investigación se realizó un análisis de los efectos nocivos en caso de desastre por mal manejo y se complementó con la elaboración de una matriz de impacto ambiental. Los resultados obtenidos muestran que los elementos más vulnerables en cuanto a una empresa de este giro son la calidad del agua y la salud de los trabajadores. Aunado a esto, la ubicación de la empresa podría conllevar a una catástrofe ambiental y social ya que se encuentra rodeada de zonas urbanas.

Palabras Clave: *Matriz de riesgo, residuos peligrosos, riesgo*

278

1. Introducción

La gestión de los Residuos Peligrosos (RP) ha estado en la mira de los investigadores debido a los conflictos que deriva su confinamiento y traslado [1], problemática que estuvo en la agenda desde los años 90. Es importante mencionar que el objetivo de la gestión y manejo de los RP es asegurar una recolección, traslado, transferencia, tratamiento y disposición (en su caso reutilización) de forma segura, eficiente y económica [2]. Sin embargo, hoy en día, el manejo de estos residuos es riesgoso tanto para los trabajadores en el área como para la población aledaña a sitios de transferencia y confinamiento, así como para el medio ambiente.

De acuerdo con [3] aproximadamente el 90% de los RP que se generan en México no se manejan de forma adecuada, y este mal manejo trae como consecuencias riesgos a la salud y al medio ambiente [3], [4], [5], [6], los cuales derivan a enfermedades y muerte de la población, así como la pérdida del ecosistema. En México la instancia encargada de supervisar, normar y dictaminar los requerimientos necesarios para una gestión exitosa de RP es la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) quien de acuerdo con [3] ha tenido un rol secundario en este tema, debido a la falta de capacidades institucionales y al tamaño del territorio.

Una etapa importante dentro de la gestión de los RP es la transferencia y traslado, lo anterior debido a que las empresas generadoras de este tipo de residuos confinan sus residuos por un cierto período hasta que una empresa de recolección autorizada pasa a recolectarlos, sin embargo, esta etapa dista de su similar en cuanto al manejo de los residuos sólidos urbanos, y es porque las empresas recolectoras no trasladan los RP hasta el sitio de confinamiento final, sino que los depositan o resguardan en estaciones de transferencia, las cuales se pueden llegar a encontrar en distritos urbanos e industriales, lo que supone un riesgo latente a la comunidad aledaña.

Es por lo anterior que en esta investigación tuvo como objetivo el realizar un análisis de impacto y riesgo ambiental de una empresa que funciona como centro de acopio y transferencia de RP (acumuladores de tipo plomo ácido) que debido a sus características químicas se consideran corrosivos y tóxicos respectivamente. Cabe mencionar, que acorde a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) los RP son aquellos que cumplen con las características Corrosivas, Reactivas, Explosivas, Tóxicas y Biológico Infecciosas (CRETIB) [7].

1.1 Los Residuos Peligrosos en cifras

Los residuos peligrosos van en aumento, y esto se debe a las actividades y procesos industriales, así como al ritmo de vida actual. Cabe mencionar que fue a partir del libro *La primavera silenciosa* [8] cuando se analiza la relación de los tóxicos y la salud y el medio ambiente, es importante esta mención ya que el manipular RP conlleva riesgos a la población y a los ecosistemas, muchas veces, estos riesgos no son inmediatos, si no que se van presentando después de un periodo prolongado de exposición.

De acuerdo con el Banco Mundial [9], al año 2018 se generaban 0.32 kg/per cápita/día, sin embargo, atribuye a que existen RP que no sólo se generan en las industrias, sino que también en los hogares, y éstos se llegan a mezclar con los residuos domésticos. En México el aumento de los RP no ha sido la excepción, a continuación se presenta una gráfica con las toneladas de RP acumuladas a partir del año 2004.

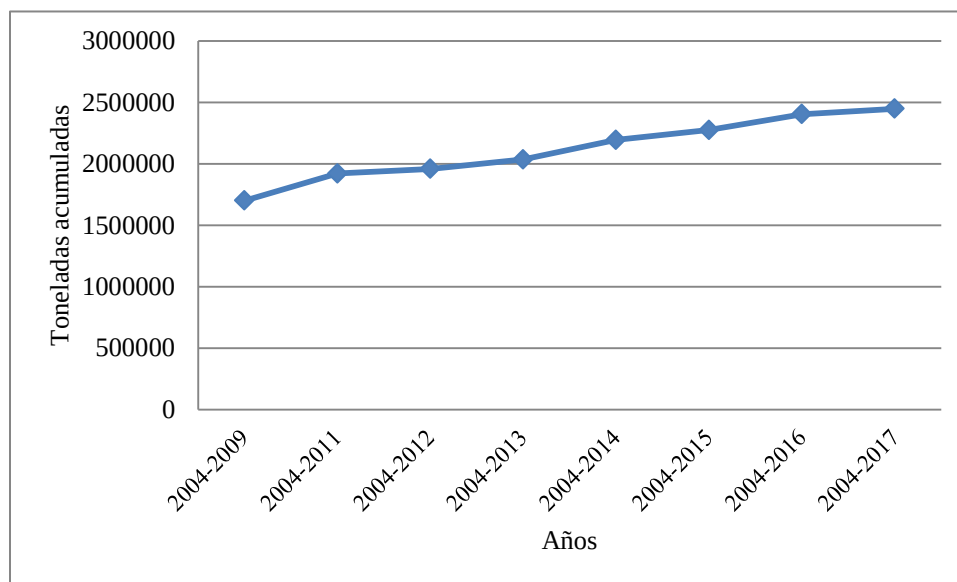


Figura 1. Generación acumulada de RP en el período de 2004-2017 [10], [11]

La Figura 1 muestra cómo los RP se han acumulado, y este incremento supone contar con más sitios de confinamiento y empresas autorizadas para su manejo. Al 2019, se identificaron 667 [10] sitios con residuos peligrosos, remediados o en proceso de remediación. Al 2020, la mayor cantidad de empresas generadoras de RP se concentra en las zonas industriales de México, siendo la Zona Metropolitana del Valle de México la que tiene más empresas generadoras (8,709), seguida de Jalisco con 10,431, Baja California con 7,135, Michoacán con 5,682 y el Estado de México con 5,669 [11].

Es importante mencionar que en México y acorde a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos se pueden importar y exportar los RP en un llamado *movimiento transfronterizo*, en este caso sólo se permite trasladar materiales entre los países para que se reciclen, reprocesen o re manufacturen; así mismo, también se puede realizar esto para que lleguen a los países de origen para tratamiento y confinamiento [11], esto es, hablar de responsabilidad social, en donde el generador se hace

cargo de la gestión de sus RP aunque estos ya fueron utilizados por los consumidores, es así que en México durante el período de 1995-2017 se importaron 14.8 millones de toneladas de RP y se exportaron 4.4 millones de toneladas.

Cabe hacer mención que, en México los generadores y gestores de RP deben realizar la gestión de éstos de manera segura tanto para la población como para el medio ambiente [7], es en estas líneas en donde se centra el análisis de esta investigación, la cual tiene como objetivo analizar el impacto y riesgo ambiental y a la comunidad de una empresa que recibe en sus instalaciones RP, los cuales son baterías que ya fueron utilizadas por el consumidor y por lo tanto funciona como centro de acopio temporal y estación de transferencia.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

La empresa que se analizó se encuentra en el Estado de Jalisco, en este estado se registraron al 2017 10 431 empresas tanto generadoras como de manejo de RP, ocupando así el 2do lugar a nivel nacional. La Zona Metropolitana de Guadalajara es reconocida por su actividad industrial, contando con un incremento de corredores industriales. En cuanto a la situación laboral, en esta empresa laboran 55 empleados de los cuales 28 están autorizados y capacitados para manejar los RP.

La empresa, objeto de este estudio, se encuentra en uno de los corredores industriales más antiguos, el cual quedó atrapado dentro de la mancha urbana, por esto el riesgo que supone a la población, el cual está dentro del Distrito urbano 7 “Cruz del Sur” Subdistrito Urbano 04 “Zona industrial – El Deán” el cual se encuentra en la zona industrial del municipio de Guadalajara, en la Figura 2 se observa su ubicación.

El área de estudio está situada en la parte alta de la subcuenca del Río San Juan de Dios, la cual está ubicada Hidrográficamente en la región VIII del País, en la cuenca Lerma- Santiago-Pacífico. La subcuenca se asienta en el acuífero de Atemajac, el cual se encuentra sobreexplotado debido a la gran expansión urbana e industrial de la zona [12].

El cuerpo de agua más representativo que se encuentra en el municipio de Guadalajara es el río San Juan de Dios, ya que atraviesa la ciudad por el centro, sin embargo para fines de esta investigación no representa gran importancia, ya que se encuentra entubado.

No obstante dentro del área de estudio (Subdistrito urbano 4 “Zona Industrial – el Deán”) se encuentra un vaso regulador (el Deán) el cual fue construido con la intención de mitigar las inundaciones en la zona. Debido a la inclinación del terreno, a este vaso regulador llegan aguas pluviales no solo del Subdistrito, sino de toda la zona industrial de Guadalajara, lo cual hace que rebase su capacidad e inunde la zona.

Es por esto que es en el temporal de lluvias, donde resalta la contaminación en este cuerpo de agua, debido a que como fue aclarado anteriormente, la inclinación del terreno permite que las aguas residuales de la empresa acopiadora de residuos peligrosos y demás empresas, lleguen a este cuerpo de agua contaminándolo y creando dichos problemas ambientales y de salud pública.

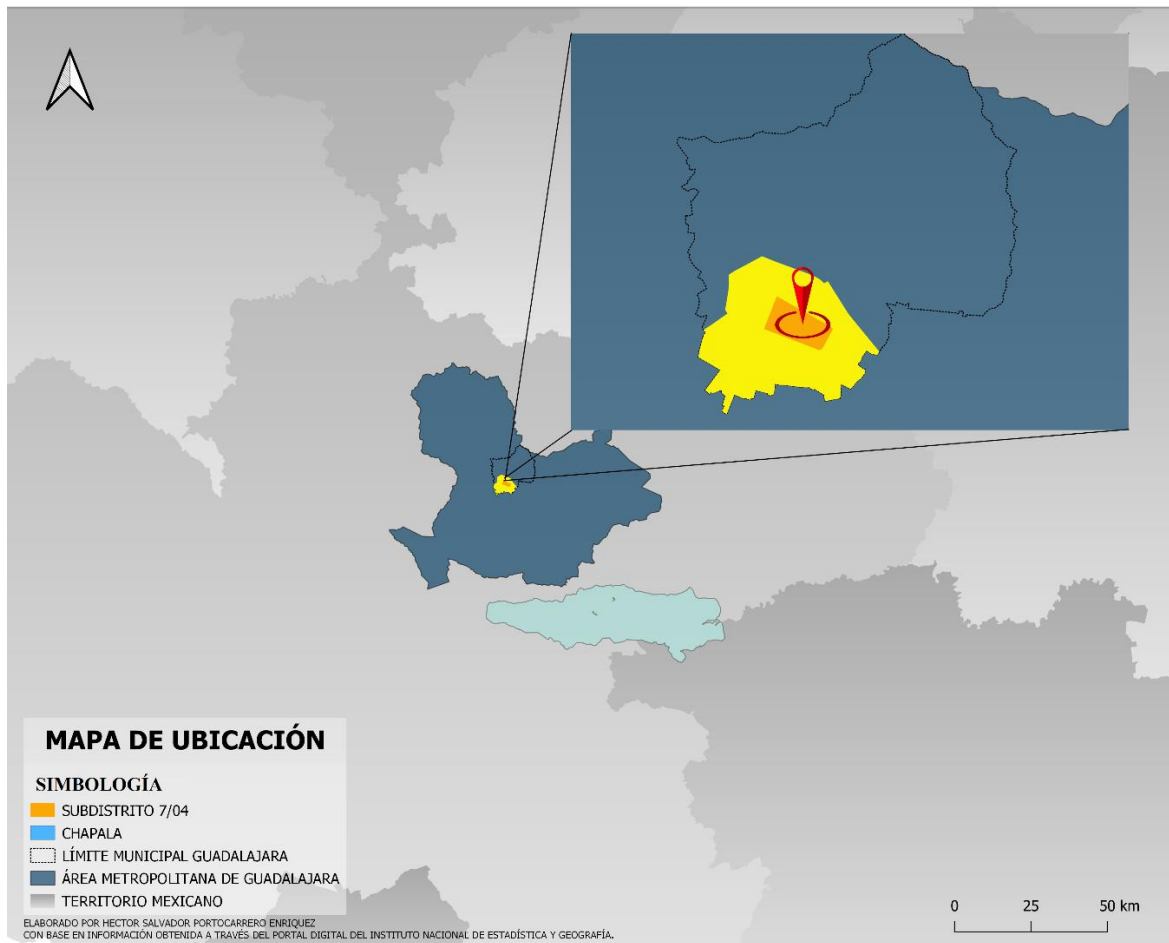


Figura 2. Ubicación de la empresa a analizar [13]

De acuerdo con los datos del Censo de Población y Vivienda [14], el Subdistrito urbano 4 “Zona Industrial - El Deán” contaba con una población de 5,044 habitantes en ese año. Debido a las características históricas y territoriales de este Subdistrito, que en su mayoría se constituye por usos de suelo del segundo y tercer sector (comercio e industria) se presenta una baja proporción de uso de suelo habitacional, lo cual se traduce en una mínima densidad poblacional (14 habitantes por hectárea) es decir, los usos de suelo antes mencionados han desplazado a la población y es por eso que se encuentra concentrada en los límites del Subdistrito, tal como se observa en la Figura 3.

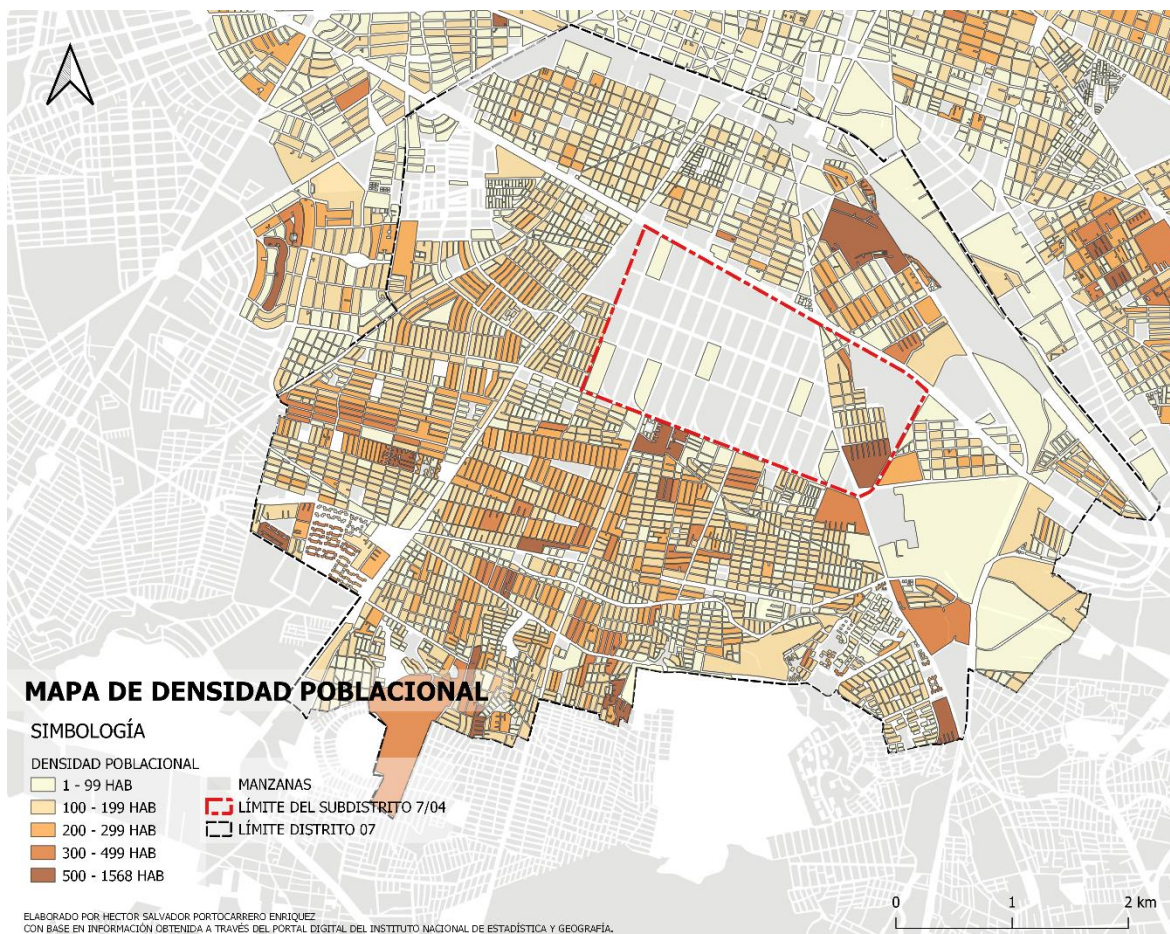


Figura 3. Ubicación del Subdistrito urbano 4 y las zonas habitacionales aledañas [13]

Como se puede observar, a pesar de que en el subdistrito la densidad poblacional sea muy baja, a los alrededores esta densidad se incrementa, lo que supone una amenaza a la población por el tipo de materiales que maneja, exponiéndolos a diversos peligros como explosiones, derrames químicos, entre otros, así mismo, en la zona las amenazas naturales están presentes, tales como las hidrometeorológicas, las cuales son generadas principalmente por las características topográficas naturales que presenta el suelo y por acciones inducidas como las de desarrollo urbano e industrial de la zona, características que hacen esta zona y sus alrededores vulnerable.

En la Figura 4 se puede apreciar lo mencionado con anterioridad sobre las características topográficas de la zona.

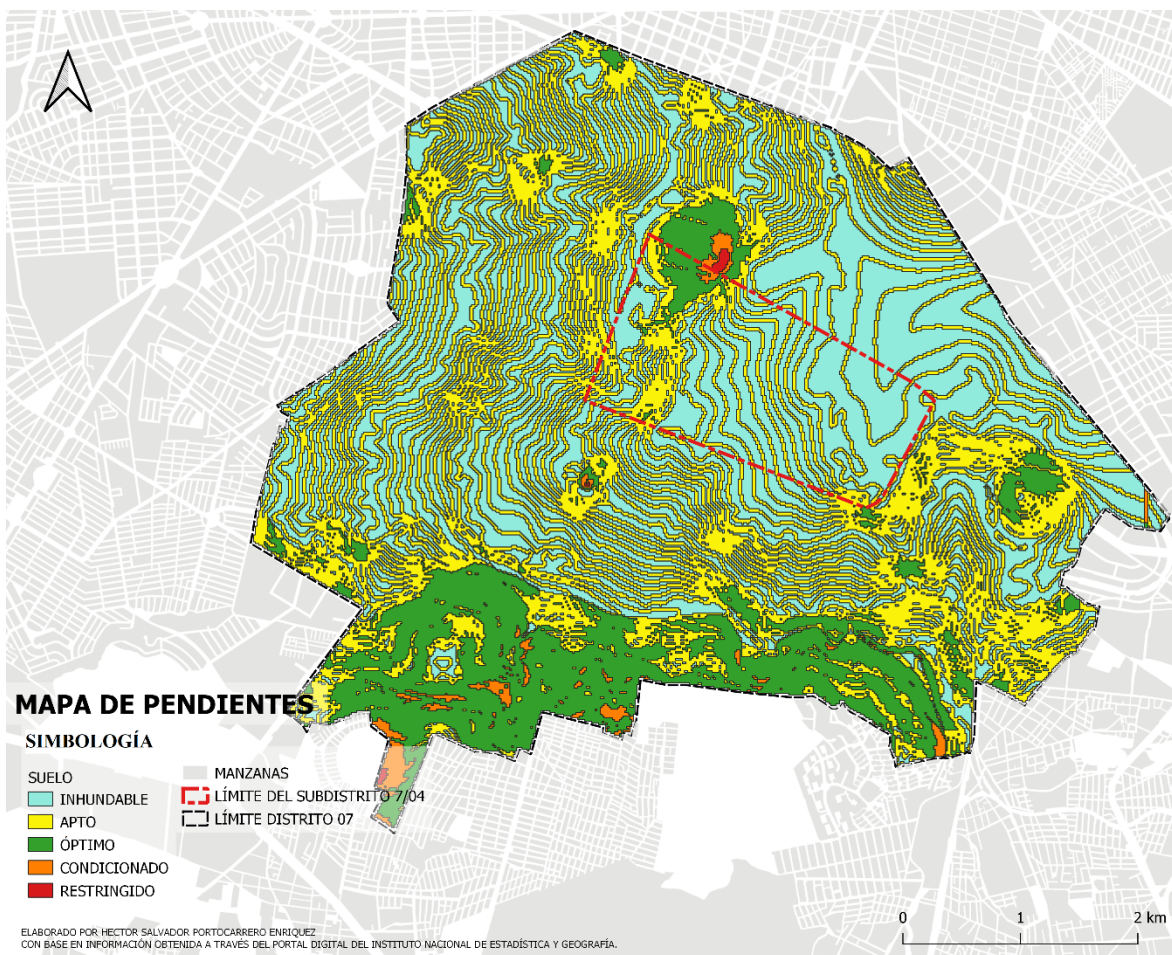


Figura 4. Características topográficas de la zona en donde se ubica la empresa a analizar [13]

Como fue mencionado anteriormente, en este Subdistrito se encuentran distintos tipos de industria, sin embargo para fines de esta investigación nos centraremos en un centro de acopio de residuos peligrosos, el cual recibe, resguarda temporalmente y traslada acumuladores usados de tipo plomo ácido, resultando de esta actividad la generación de residuos peligrosos, tales como el ácido sulfúrico, el plomo, y los óxidos de plomo que contienen los acumuladores; los cuales debido a sus características químicas se consideran corrosivos y tóxicos respectivamente.

2.2 Metodología para la identificación de riesgos y amenazas

Con el fin de clarificar los posibles riesgos a la salud de la población primeramente se identificaron de manera teórica los riesgos y consecuencias por la exposición a estos materiales.

En un segundo momento se elaboró una matriz de impacto ambiental (Matriz CONESA) [15], [16], con la cual se diagnosticó la situación ambiental y de salud del Subdistrito.

Dicha matriz permite asignar un valor a la importancia de cada factor ambiental, resultado de la realización de la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC] \quad (1)$$

Dónde:

± =Naturaleza del impacto.

I = Importancia del impacto

i = Intensidad o grado probable de destrucción

EX = Extensión o área de influencia del impacto

MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto

PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto

RV = Reversibilidad

SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples

AC = Acumulación o efecto de incremento progresivo

EF = Efecto (tipo directo o indirecto)

PR = Periodicidad

MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos.

Para poder interpretar los resultados que arroje la ecuación en cada factor ambiental, es necesario estandarizarlos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla de estandarización de resultados [15]

Valor ponderado	Calificación	Categoría
< 25	BAJO	
$25 \leq < 50$	MODERADO	
$50 \leq < 75$	SEVERO	
≥ 75	CRÍTICO	
Los valores con signo + se consideran de impacto nulo		

3. Resultados

En un primer momento se presentan los posibles daños a la salud por exposición al ácido sulfúrico y a los compuestos de plomo, sustancias que son manejadas en la empresa analizada, los cuales se presentan en la Tabla 2 y en la Tabla 3. en las siguientes tablas.

Tabla 2. Daños a la salud por la exposición al ácido sulfúrico y a compuestos de plomo [17]

Vía de Exposición	Ácido Sulfúrico	Compuestos de Plomo
Inhalación	Iritación en las vías respiratorias, tos, dificultad para respirar	Iritación en las vías respiratorias y pulmones. (La exposición constante a este metal, puede causar toxicidad sistémica)

Ingestión	Irritación en boca, garganta, esófago y estómago, puede causar la muerte	Dolor abdominal, vómito y diarrea. (Su ingestión aguda puede llevar rápidamente a toxicidad sistémica).
Contacto con la piel	Quemaduras e irritación	No se absorben por la piel
Contacto con los ojos	Quemaduras, ardor, enrojecimiento, daño a las corneas y ceguera	Irritación
Sobre exposición crónica (a largo plazo)	Erosión del esmalte de los dientes, inflamación de nariz, garganta y tubos bronquiales	Anemia; neuropatía, particularmente de los nervios motores, daño a riñones y cambios reproductivos
Carcinogenicidad	La exposición ocupacional a vapores de ácido sulfúrico puede ocasionar cáncer en los humanos	Posiblemente carcinogénicos

Tabla 3. Daños al medio ambiente por el mal manejo de ácido sulfúrico y compuestos de plomo [17]

Vía de exposición	Ácido Sulfúrico	Compuestos de Plomo
Derrame	Acidificación de agua y suelo Daños en el ecosistema Formación de lluvia ácida	Contaminación atmosférica, del suelo y agua. Bioacumulación de plomo en los seres vivos, la cual provoca el envenenamiento de estos.

Acorde a lo presentado, la población aledaña puede sufrir graves daños si ocurre un mal manejo de los RP, y no sólo eso, un derrame causaría una catástrofe ambiental, ya que ocasionaría daños al subsuelo y así contaminar los mantos freáticos.

Para completar este análisis, se presentan los resultados de la matriz de riesgo ambiental CONESA. En la Tabla 4, los panoramas que se observan en la matriz no son muy favorables para los habitantes aledaños a este centro de acopio, los impactos en su mayoría son severos, siendo los más significativos los problemas relacionados con la calidad de agua y la salud de los trabajadores en planta, sin embargo se puede dejar de lado aquellos impactos severos que podrían transitar a críticos, tales como, la calidad y estilo de vida de los habitantes y los daños a la vegetación y al suelo.

Es necesario que tanto los gobiernos locales como el Federal, tomen parte del asunto, debido a que está causando problemas que pueden ser silenciosos, sin embargo a mediano y largo plazo estos se pueden convertir en problemas de salud pública, como las enfermedades antes mencionadas, que afectarán al distrito y al municipio en general.

Tabla 4. Matriz de riesgo ambiental CONESA

Acción Impactante	Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Sinergia	Acumulación	Efecto	Periodicidad	Recuperabilidad	Importancia
Calidad del aire	1	1	2	1	1	2	1	4	4	1	-21
Ruido y vibración local	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/A
Suelo	12	1	2	4	4	4	4	4	4	2	-66
Calidad del agua	12	4	8	2	2	4	4	4	4	4	-76
Consumo de agua	4	1	8	2	4	4	4	4	4	4	-48
Vegetación	12	2	2	4	4	4	4	4	4	4	-70
Aves y especies terrestres	8	2	1	2	2	2	4	4	2	2	-47
Calidad visual	11	2	2	4	4	2	4	4	4	2	-63
Áreas verdes	10	2	4	2	3	2	1	4	4	2	-56
Estilo de vida y patrones culturales	12	2	4	4	2	4	4	4	4	4	-70
Calidad de vida	12	2	4	4	2	4	4	4	4	4	-70
Imagen urbana	12	2	4	4	4	4	4	4	4	2	-70
Salud de los trabajadores del sitio	12	2	4	4	4	4	4	4	4	8	-76
Empleo	9	4	2	4	0	4	4	4	4	0	57

4. Conclusiones

Los RP son un tema el cual si bien ha sido explorado y analizado por varios autores es necesario revisar más a fondo, ya que existen casos [1] los cuales han derivado en conflictos socioambientales por contaminación. Cabe señalar que las afectaciones tanto a la salud de la población como al medio ambiente están en riesgo, y las empresas que generan, manejan, transportan o depositan/confinan los residuos son una amenaza latente.

En México existe una legislación muy amplia, la cual cubre lo que respecta a los RP, sin embargo, se deberían hacer acciones más puntuales, y evitar tener empresas de este tipo dentro de las manchas urbanas.

Como se presenta en los resultados en la Tabla 4, la calidad de agua y la salud de la población son los elementos más vulnerables ante este tipo de industrias, lo cual es un tema de salud pública, ya que si algún cuerpo de agua llegara a contaminarse las repercusiones ya no llegan a ser puntuales, sino que puede derivar de una catástrofe ambiental. Así mismo, en la zona en la que se encuentra la empresa se tiene el vaso regulador El Deán, el cual actualmente ha sido contaminado por industrias aledañas, y el riesgo a una amenaza química de grandes magnitudes está latente, como se mencionó es una zona en donde ocurren inundaciones, en este caso, es preocupante dado la cercanía de la empresa con las zonas habitacionales, lo que afectaría la calidad de vida de la población.

Cabe señalar que un daño a la salud por RP, en específico por ácido sulfúrico y compuestos de plomo llega a ser irreversible y causar la muerte. Por lo que es necesario que empresas de este giro tengan un plan de manejo adecuado y eficiente, así como capacitaciones continuas al personal que se encuentra dentro de las instalaciones, ya sea que maneje o no de forma directa los residuos, sin embargo, en esta empresa no todos los empleados cuentan con la capacitación adecuada, lo que aumenta el riesgo de sufrir algún daño.

Los impactos negativos al estilo de vida y patrones culturales, calidad de vida, imagen urbana y vegetación también se deben de considerar, ya que un mal manejo de RP podría alterar la dinámica poblacional.

Es importante señalar que la información que se genera en materia de RP llega a ser limitada por parte de la SEMARNAT, si bien se tienen datos y estadísticas sería necesario contar con un inventario más exhaustivo sobre generadores y empresas certificadas para realizar dicha gestión.

Referencias Bibliográficas

- [1] Ugalde V. y Melé P. (2019) “La actualización local del derecho en los conflictos asociados a residuos peligrosos: de Guadalcázar a Zimapan”. *Revista legislativa de estudios sociales y de opinión pública*, 12(24), 115-136.
- [2] Nema A. K. y Gupta S. K. (2003) “Multiobjective risk analysis and optimization of regional hazardous waste management system”. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 7(2), 69-77. doi:10.1061/(ASCE)1090-025X(2003)7:2(69)
- [3] Díaz F. (1996) “Los residuos peligrosos en México. Evaluación del riesgo para la salud”. *Salud pública de México*, 38(4), 280-291.
- [4] Yilmaz O., Kara B. Y. y Yetis U. (2017) “Hazardous waste management system design under population and environmental impact considerations”. *Journal of environmental management*, 203, 720-731. doi:10.1016/j.jenvman.2016.06.015
- [5] Misra V. y Pandey S. D. (2005) “Hazardous waste, impact on health and environment for development of better waste management strategies in future in India”. *Environment international*, 31(3), 417-431. doi: 10.1016/j.envint.2004.08.005
- [6] Rabbani M., Danesh Shahraki S., Farrokhi-Asl H., y Lim F. W. (2018) “A new multi-objective mathematical model for hazardous waste management considering social and environmental issues”. *Iranian Journal of Management Studies*, 11(4), 831-865. doi: 10.22059/IJMS.2018.263973.673269
- [7] Diario Oficial de la Federación (2003) *Ley Federal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Consultado el 05 de junio del 2020. Disponible en http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpggir/LGPGIR_orig_08oct03.pdf
- [8] Carson R. (1962) *Silent spring*. Edition 2020, Houghton Mifflin Harcourt.

- [9] World Bank (2018) What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Consultado el 05 de junio del 2020. Disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- [10] SEMARNAT (2020) *Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental - Residuos peligrosos*. Consultado el 05 de junio del 2020. Disponible en <https://datos.gob.mx/busca/dataset/indicadores-basicos-del-desempeno-ambiental--residuos-peligrosos>
- [11] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2020) Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Primera Edición. SEMARNAT. Ciudad de México. Consultado el 15 de julio del 2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/555093/DiagnosticoBasicoGestionIntegralResiduosF.pdf>
- [12] Mendoza E., Aldana S. y Castolo C. (2017) “Modelación hidrológica e hidráulica del manejo de aguas pluviales urbanas en la parte alta de la sub cuenca del Río San Juan de Dios, Guadalajara, Jalisco”. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 83-104. doi: 10.32870/rvcs.v0i2.22
- [13] Ayuntamiento de Guadalajara (2017) *Pagina Oficial del Gobierno de Guadalajara*. Consultado el 11 de Junio de 2020. Disponible en: <http://cdn.guadalajara.gob.mx/planesparciales/PPDU-D7SD04-ZONA-INDUSTRIAL-EL-DEAN.pdf>
- [14] INEGI (2010) Censo Nacional de Población y Vivienda 2010. Consultado el 05 de junio del 2020. Disponible en inegi.gob.mx
- [15] Conesa Fernandez-Vitoria V. (1993) *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Ediciones Mundiprensa. Madrid España.
- [16] Hidroar S. H. (s.f.) *Gobierno Chubut, Ministerio de ambiente y control del desarrollo sustentable*. Recuperado el 11 de Junio de 2020, de <http://www.ambiente.chubut.gov.ar/wp-content/uploads/2015/01/Metodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>
- [17] COMANA/GTZ, P. (2007) *RESPEL Residuos Peligrosos*. Recuperado el 11 de Junio de 2020, de Guía técnica sobre el manejo de baterías plomo acido usadas: http://respel.cl/wp-content/uploads/2017/10/RESPEL-GTZ-BATERIAS_PLOMO_ACIDO_USADAS.pdf

Seguridad alimentaria en México: plaguicidas residuales en alimentos

¹ Diana Ailed Domínguez León, ² María Yolanda Leonor Ordaz Guillén, ³ Jose Raúl Rodríguez Flores

¹ Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Nueva Industrial Vallejo, 07738 Ciudad de México, CDMX, (044) 7751068744, mordazg@ipn.mx, ² Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, ³ Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Resumen

El objetivo de la presente investigación es ofrecer un marco de referencia para la primera fase de un proyecto que busca el análisis de plaguicidas residuales en alimentos. El ser humano absorbe combinaciones de plaguicidas por distintos medios, uno de estos es por la ingesta de alimentos contaminados, la presencia de estas sustancias pone en riesgo a la población, por ello es necesario detectar los plaguicidas residuales en alimentos a fin de lograr la seguridad alimentaria para las personas. Este documento establece como zona de estudio para la detección de plaguicidas residuales, a la Subcuenca Río Tecolutla, formada por los municipios de Tecolutla, Papantla y Gutiérrez Zamora, en el Estado de Veracruz, México. Se realizó una investigación documental con una metodología cualitativa, conformada por tres etapas: una revisión bibliográfica general sobre los plaguicidas residuales en alimentos, una búsqueda de antecedentes respecto al análisis de plaguicidas residuales en México y del uso de plaguicidas en la zona de estudio y por último la ubicación de la zona de estudio. La seguridad alimentaria en México requiere una mayor investigación en el área de plaguicidas residuales debido a su presencia en alimentos, incluso de plaguicidas de peligrosidad alta, lo cual se deriva entre otras causas por la autorización de su comercialización y por prácticas agrícolas inadecuadas. No hay un método de consulta público de los monitoreos a productos agrícolas en México. Se espera encontrar Glifosato y 2,4-D en la zona de estudio ya que son los plaguicidas con mayor frecuencia de uso.

Palabras Clave: Buenas prácticas agrícolas, Legislación, Límite máximo de residuo, Toxicidad.

1. Introducción

Con el crecimiento demográfico, también se incrementó la demanda de recursos para satisfacer una de las necesidades básicas de las personas, la alimentación. Todo ser humano tiene derecho al acceso de una alimentación sana, nutritiva y suficiente durante todo el año [1], actualmente las naciones tienen dos metas en relación a dicho tema, el poner fin al hambre y garantizar la seguridad alimentaria [2].

“El hambre es la sensación física dolorosa provocada por un consumo insuficiente de energía alimentaria” [3], el hambre se refiere a la ingesta calórica insuficiente para llevar a cabo una vida normal y saludable, mientras que la seguridad alimentaria es el acceso físico y económico a alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer las necesidades alimentarias para una vida activa y saludable [2]-[3].

La seguridad alimentaria depende de la inocuidad de los alimentos, esto es cuando están libres de bacterias, virus, parásitos o sustancias químicas que pueden resultar perjudiciales para la salud del consumidor [2].

La inocuidad de los alimentos es tarea de todos los sectores involucrados con los mismos: Los gobiernos deben establecer políticas públicas para promover la agricultura y sistemas alimentarios sostenibles. Los agricultores deben procurar llevar a cabo buenas prácticas agrícolas para garantizar un suministro suficiente de alimentos inocuos. Todas las personas involucradas en las operaciones alimentarias, desde el procesamiento hasta la venta al por menor deben asegurarse de que los alimentos sean inocuos. Los

consumidores tienen derecho a alimentos inocuos, saludables y nutritivos, ellos pueden lograr un cambio, al tomar decisiones respecto a qué consumen, leer etiquetas de los alimentos, familiarizarse con los peligros alimentarios comunes y así impulsar sistemas alimentarios sostenibles [2].

Una de las sustancias químicas que puede estar presente en los alimentos, son los plaguicidas, su característica principal es la toxicidad de sus ingredientes, estos son usados para controlar plagas, proteger cultivos o eliminar vectores transmisores de enfermedades [4], sin embargo muchas de estas sustancias se acumulan en el ambiente y en el organismo humano, además de que los ingredientes que los componen pueden ser altamente peligrosos.

En los humanos las vías de absorción de plaguicidas al organismo son tres: dérmica, por inhalación y por ingestión. La vía dérmica se da cuando en la manipulación el usuario se expone a rocíos o salpicaduras de plaguicidas, también con el contacto directo con objetos o superficies que tienen residuos de estos; la inhalación de polvos, brumas o vapores de plaguicidas, provoca que estos sean absorbidos a través de los pulmones, este tipo de exposición es menos frecuente ya que depende en gran medida del tamaño de partícula, aplicar plaguicidas a alta presión puede aumentar el peligro ya que se crean partículas más pequeñas y estas pueden transportarse en grandes distancias. La ruta de exposición por ingestión es menos común, pero puede provocar una intoxicación más severa, usuarios de plaguicidas pueden ingerir estas sustancias involuntariamente al comer o fumar sin haber lavado sus manos previamente [5].

Los plaguicidas se han utilizado desde hace miles de años, su auge surgió a partir del siglo pasado, la llamada “Revolución Verde”, época de la historia donde el uso de plaguicidas se disparó y la producción de alimentos creció gracias a su uso [6]. Aunque los efectos negativos de los plaguicidas eran visibles desde el siglo XIX, debido a intoxicaciones que sufrían los usuarios de los mismos, el interés por estudiar los efectos negativos de estas sustancias comenzó hasta 1962, con la publicación del libro “Primavera Silenciosa”, a partir de entonces comenzaron a surgir investigaciones del comportamiento de plaguicidas sintéticos en el ambiente [7].

El uso de plaguicidas es una práctica vital en la de producción de alimentos a nivel mundial, actualmente vislumbrar un escenario sin su uso es casi imposible debido a las facilidades que brindan, no obstante, es importante conocer que la falta de inocuidad en los alimentos tiene efectos negativos tanto en la salud, el ambiente y en la economía. Cada año alrededor de 600 millones de personas se enferman por ingerir alimentos contaminados, 420,000 mueren por esa misma causa, y existen pérdidas de alrededor de 110,000 millones de dólares en productividad y gastos médicos causados por alimentos contaminados en países de ingresos medios y bajos [8].

El riesgo a enfermedades e intoxicación por plaguicidas depende de distintos factores: la peligrosidad de los ingredientes, la concentración del plaguicida, el tiempo de exposición, la ruta de entrada al organismo [5]. En México el sector agrícola es el que más utiliza plaguicidas [10]; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la variedad de ingredientes, así como prácticas agrícolas inadecuadas, originan el fenómeno conocido como “Cocktail effect”, combinaciones de plaguicidas que son depositadas en alimentos, agua y suelo; existe evidencia que dicha combinación aumenta la peligrosidad de los plaguicidas [11].

Las buenas prácticas agrícolas son un factor determinante en la reducción del riesgo y la exposición a plaguicidas, seguir las recomendaciones pertinentes respecto a la manipulación de estas sustancias protege al ambiente y los usuarios, que en su mayoría son agricultores [9].

Controlar la presencia de plaguicidas residuales en alimentos resulta complicado, sin embargo es necesario para prevenir que estas sustancias causen daño en los consumidores, los Límites Máximos de Residuos (LMR), son un estándar que indica el “nivel máximo de residuos de plaguicidas que se permite legalmente en alimentos o piensos (tanto en el interior como en la superficie), cuando los plaguicidas se

aplican correctamente conforme a las buenas prácticas agrícolas” [12], este se expresa en miligramos de plaguicida o contaminante por cada kilogramo de mercancía [13].

Los LMR se establecen por medio de evaluaciones de ingesta dietética [14], estas tienen como objetivo estimar los plaguicidas residuales en alimentos que no representan un riesgo alto para los consumidores. “Para evaluar los plaguicidas residuales en alimentos que no producen un riesgo alto o inaceptable para el consumidor, se combinan los datos de residuos con la información dietética cultural, de tal modo, se lleva a cabo un estimado de la ingesta potencial de residuos por parte de los consumidores y se compara con valores de referencia toxicológicos” [15].

Los valores de referencia toxicológicos son Ingesta Diaria Admisible (ADI, por sus siglas en inglés) y la Dosis de Referencia Aguda (ARfD, por sus siglas en inglés) [15]. El ADI es un estimado de la cantidad de plaguicidas en alimentos que puede ser ingerida diariamente durante toda la vida, sin un riesgo apreciable a la salud del consumidor [16], para determinar el ADI se emplea el nivel-sin-efectos-observados (NOAEL, por sus siglas en inglés), un factor de seguridad que utiliza el parámetro toxicológico más sensible (especie más sensible de animales experimentales), para determinar el ADI en humanos [13]. El ARfD es la estimación de la cantidad de plaguicida en alimentos que puede ingerirse durante un período de 24 horas sin riesgo apreciable para la salud del consumidor; tanto el ADI como el ARfD, se expresan en miligramo por peso corporal [15].

Los gobiernos de cada país tienen la libertad de establecer los LMR, estos varían según la región, aunque pueden coincidir si utilizan una base común como los establecidos en el *Codex Alimentarius*, este es una serie de normas, directrices y códigos de prácticas de carácter voluntario que se utilizan en la capacitación de productores de alimentos, con el fin de garantizar la inocuidad de estos [17].

Los LMR de país a país puede dificultar el comercio de alimentos, ya que, en las exportaciones, se deben cumplir con los LMR del país importador [13]. Los LMR que se utilizan en México se localizan en la Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR, de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), la consulta es por medio de una base de datos digital [18].

El monitoreo de los LMR permite observar la efectividad de las buenas prácticas agrícolas llevadas a cabo en cada nación, y así determinar el nivel de riesgo por ingestión de plaguicidas residuales. Países como Reino Unido, llevan a cabo análisis y reportes de consulta pública. Debido a la gran variedad alimentaria que existe, realizan cuatro reportes por año, en los cuales se presentan los análisis de muestras de alimentos originarios del mismo país e importaciones [19].

La normatividad de los LMR en México se puede consultar en los siguientes documentos:

- NOM-057-FITO-1995 Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para emitir el dictamen de análisis de residuos de plaguicidas [20].
- NOM-082-SAG FITO/SSA1-2017 Límites máximos de residuos. Lineamientos técnicos y procedimiento de autorización y revisión [21].
- PROY-NOM-000-SAG-FITO/SSA1-2013 Límites máximos de residuos. Lineamientos técnicos y procedimiento de autorización y revisión [22].

En México los resultados del monitoreo de los LMR a nivel federal no están accesibles al público en general, aunque un agricultor puede solicitar análisis de sus productos y conocer los plaguicidas residuales de estos de manera particular. Actualmente solo existe un programa destinado al monitoreo de los LMR en alimentos cuya consulta está abierta, este es el Programa Nacional de Control y Monitoreo de residuos tóxicos en los bienes de origen animal, recursos acuícolas y pesqueros [23].

Uno de los alimentos que más contiene plaguicidas residuales es la naranja, un monitoreo de plaguicidas residuales en Reino Unido arrojó que de 2012 a 2017 la naranja presentó mayor contenido de múltiples plaguicidas residuales, los análisis realizados a dicho producto exponían que 36% de las muestras contenían cinco o más plaguicidas residuales, y 8% arriba de ocho. Las naranjas encabezan la “docena sucia”, un listado de los alimentos con más plaguicidas residuales [24].

El mayor productor de naranja en México es el estado de Veracruz, alrededor de 50% del volumen cosechado a nivel nacional se obtiene en dicho estado. En 2017 México ocupaba es el 5° puesto como productor a nivel mundial de naranja, con exportaciones valoradas en 30.4 millones de dólares. El país al que más exportaciones realiza México es Estados Unidos de América, algunos de los otros países importadores de este producto son: Japón, Reino Unido e Israel [25].

Hay una problemática respecto al análisis de plaguicidas residuales en alimentos, especialmente en productos vegetales, la presencia de estas sustancias obstaculiza el poner fin al hambre y garantizar la seguridad alimentaria, además, esta situación enfrenta más retos debido a la pandemia de Covid-19 que ha afectado a millones de personas, tanto en temas de salud como económicos [26].

A raíz de lo expuesto, este trabajo tiene como objetivo establecer el marco de referencia de la primera fase de un proyecto de investigación enfocado a la detección de plaguicidas residuales en cultivos, citrícolas (naranjas) en la en la Subcuenca Río Tecolutla, Veracruz.

2. Metodología

La investigación es documental y usa un método cualitativo en su primera fase, este trabajo aporta los antecedentes para realizar el proyecto de investigación mencionado, el cual culminará con la cuantificación de datos en materia de plaguicidas residuales.

El diseño de investigación aplicado en este trabajo corresponde al tipo exploratorio, debido a los escasos estudios en materia de plaguicidas residuales en México.

Esta investigación se realizó en tres etapas:

Primera etapa. Investigación bibliográfica de plaguicidas residuales en alimentos, en general.

Segunda etapa. Antecedentes respecto al análisis técnico de plaguicidas residuales en México y del uso de plaguicidas en la zona de estudio.

Tercera etapa. Ubicación de la zona de estudio y establecimiento del marco de referencia para diseñar la segunda fase del proyecto.

3. Resultados y discusión

3.1 Plaguicidas residuales en alimentos en México

Los estudios de plaguicidas residuales en alimentos en México son escasos, una revisión sobre el estado actual de los plaguicidas en México realizada por [27], examina 394 artículos y de estos sólo 6% abordan el tema de plaguicidas en alimentos, en su mayoría refieren a residuos presentes en matrices alimentarias como productos cárnicos y lácteos.

A partir del 2004, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) lleva cabo monitoreos anuales de plaguicidas en los campos agrícolas en colaboración con el Centro Nacional de Referencia de Plaguicidas y Contaminantes (CNRPyC), organismo encargado de vigilar el cumplimiento de los LMR de productos agrícolas [28], sin embargo el acceso a la información es

complejo, ya que solo hay un programa de monitoreo de plaguicidas residuales en productos de origen animal, y el acceso a la información referente a productos vegetales aún no está disponible.

Una de las evidencias de los monitoreos del CNRPYC en frutas y vegetales, es el comprendido en el periodo 2005-2007, este reportó residuos de plaguicidas no autorizados, la Tabla 1 enlista las sustancias encontradas en los monitoreos, así como sus LMR establecidos por distintas instancias y gobiernos [29].

Tabla 1. *Productos no autorizados y restringidos detectados en monitoreo nacional 2005-2007 y límites máximos permisibles establecidos por diferentes países*

Plaguicida	Cultivo	LMR (mg/kg)			
		Estados Unidos	Unión Europea	Codex alimentarius	México 2007
Acefato	Tomate, papaya. Jitomate, cilantro y calabacita	4 - 10	0.01	1 - 50	0.5-10
Acetoclor	Chile	0.02-0.1	0.02	-	0.04đ
Cipermetrina	Chile, cilantro y guayaba	0.5 – 10 0.1-14	0.05 0.05-2	0.01-0.7 0.05-1	0.1-0.5 0.1-14
Clorotalonil	Chile y cilantro	-	0.01-40	0.5-70	0.05-2.0
Clorpirifos etil	Chile, apio, lechuga, nopal, y cilantro	6 đ	-	-	0.05-3
Diazinón	Cilantro	0.1-1.0 0.1-0.75	0.01-0.05	0.01-5.0 0.05-0.5	0.1-40∞ 0.1-0.75
Diclorbos	Fresa	0.05-0.5 0.5	0.01-0.1 0.01	0.1-10.0	0.05 p 0.5
Dicrotofos	Apio	0.05 [†] 0.26 [†]	-	0.05 †	0.2 ^ç
Dimetoato	Nopal, cilantro, guayaba, papaya y calabacita	0.2 - 2	0.02 – 0.1	0.05 - 1	0.05-2.0
Endosulfán	Cilantro, frijol ejotero y guayaba	0.15 - 2	0.05 - 1	0.05 - 1	0.04-2.0
Etión	Guayaba	2 - 10	0.01	0.3 - 5	0.1-2.0
Folpet	Chile	2-50 25 †	0.02-10 ^ç	0.1-50	15-50 25 ^ç
Isozofos	Chile y guayaba	-	-	-	-
Iprodione	Tomate	0.1-300 ^ç 0.1-25	0.02-15	0.1-25 0.02-25	0.1-25
Lamda cialotrina	Albahaca	0.01 - 2	0.02 - 0.1	0.01-0.3	0.01-2
Metamidofos	Fresa, frijol ejotero, fresa, cilantro, papaya y guayaba	0.1 - 1	0.01	0.02 - 0.05	0.05-2
Monocrotofos	Chile, tomate y cilantro	-	0.01	-	0.02-0.1
Ometoato	Chile, apio, frijol, lechuga, nopal, tomate, guayaba, papaya y calabacita	-	-	0.01 - 0.05	0.05-0.2
Paratión metílico	Chile, nopal, frijol ejotero y cilantro	0.2 - 1	0.01	0.05 - 0.3	0.1-1.0 £
Pentacloroanilina	Chile, cilantro y calabacita	-	-	-	-

Plaguicida	Cultivo	LMR (mg/kg)			
		Estados Unidos	Unión Europea	Codex alimentarius	México 2007
Pentaclobenceno	Chile y cilantro	-	-	-	-
Permetrina	Chile, fresa y cilantro	0.1 - 2	0.05 - 0.1	0.1 - 2	0.5-20
Profenofos	Tomate	2 [†]	0.02	3 - 20 3 [†]	3 [†] 2 ^{6†}
Quintozeno	Cilantro	-	0.02-0.05	0.01 - 0.1	Restringido

Símbolos: - No disponible, ∞ Alfalfa, ð cereales, ç Aguacate, † sólo semilla de algodón, Ð jitomate, £ este producto se encuentra en revisión y actualización con respecto a LMR para la combinación plaguicida-cultivo.

Fuente: [29]

Los resultados de este monitoreo demuestran que las prácticas agrícolas no son adecuadas, ya que se identificó la presencia de plaguicidas no autorizados en alimentos, así como concentraciones altas que superan los LMR de estas sustancias.

4.2 Análisis técnico de plaguicidas residuales en México

Una de las matrices más analizadas en laboratorios debido a la presencia de residuos de plaguicidas son los productos agrícolas. La determinación de plaguicidas residuales en alimentos es un reto ya que existen obstáculos en los análisis, la complejidad de los componentes y la diversidad de matrices en alimentos, lo cual ocasiona procedimientos largos y costosos que además generan residuos tóxicos [30].

El método que resulta más conveniente para el análisis de plaguicidas residuales en alimentos es el QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe), este ha sido utilizado para el análisis y determinación de una gran cantidad de plaguicidas en alimentos, como ejemplo están los estudios que muestra la Tabla 2, además este método ha sido validado para una gran variedad de productos vegetales [31].

Tabla 2. Estudios de análisis de plaguicidas residuales en alimentos por la técnica QuEChERS

Autores	Año	Tipo de cultivo	Plaguicidas analizados	País
Lehotay et al.	2005	Hortalizas y frutas	229	Estados Unidos
Kmellár et al.	2008	Hortalizas y frutas	60	España
Camino-Sánchez	2011	Hortalizas y frutas	121	Hungría
Banerjee et al.	2012	Hortalizas y frutas	349	India
Sungura y Tunur	2012	Hortalizas y frutas	175	Turquía

Fuente: [32]-[33]-[34]-[35]-[36][35].

El método QuEChERS presenta considerables ventajas respecto a otros métodos tradicionales de análisis, como: alta recuperación de plaguicidas (>85%), alta precisión en los resultados, rapidez de tratamiento, pocos reactivos, fácil acondicionamiento de las muestras, costes de reactivos más bajos que en otros métodos y poco espacio en los laboratorios [37]. El método QuEChERS está aprobado en Estados Unidos por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC Internacional) en 2007, en Europa mediante la norma EN-15662 en 2008 y en México la SENASICA lo utiliza para el análisis de residuos de plaguicidas en diferentes matrices vegetales [38].

4.3 Zona de estudio

Existen estudios previos con relación a plaguicidas dentro de la Subcuenca Río Tecolutla [39]-[40]-[41], las investigaciones se enfocan en una clase en particular de plaguicidas, los herbicidas, tomaron muestras en 51 localidades de la Subcuenca, los cítricos encabezan la producción agrícola de la región, especialmente la naranja, la Tabla 3 enlista los principales herbicidas utilizados en la Subcuenca, así como sus LMR para cítricos/naranjos.

Tabla 3. Principales herbicidas utilizados en la Subcuenca Río Tecolutla y sus LMR para cítricos y naranjos en particular.

Herbicidas más utilizados	Papantla	Gutiérrez Zamora y Tecolutla	CNRPyC LMR (mg/kg)	Codex Alimentarius LMR (mg/kg)
Glifosato	●	●	0.5‡	-
2,4-D	●	●	1‡	1 [~]
Paraquat	●		0.05‡	0.02 [~]
Picloram	●	●	-	-
Glufosinato de amonio	●		0.15‡	0.05 [~]

‡ Naranja ~ Cítrico ● Plaguicidas usados en los municipios

Fuente: [12]-[18]-[39]-[40]-[41].

Nota: El picloram es utilizado principalmente en pastizales, las bases de datos del cuadro no tienen información referente a LMR de picloram en naranjas o cítricos (esto a pesar de que hay formulaciones comerciales que combinan el picloram con 2,4-D).

Debido a la información de los estudios expuestos en Tabla 3, se espera que, al analizar los cultivos de la zona, se detecten glifosato y 2,4-D principalmente, como resultado de la exposición frecuente a estas sustancias en las parcelas de cultivo.

De acuerdo con [39] las características socioeconómicas de las personas entrevistadas en la Subcuenca indican que en su mayoría no cuentan con la capacitación necesaria para manejar plaguicidas, gran parte de la población del estudio vive en marginación, el nivel de escolaridad que predomina en los agricultores es de educación básica. La falta de recursos y capacitación para llevar a cabo una gestión adecuada de los plaguicidas deriva en que los agricultores no realizan medidas de higiene y seguridad durante la manipulación de dichas sustancias, además de que la aplicación de plaguicidas y la disposición final de los residuos no se llevan a cabo de manera adecuada.

Sumado a lo anterior, la ingesta de plaguicidas de alta toxicidad es una posibilidad, debido a que en México existen registros autorizados de estos, 183 ingredientes de alta toxicidad, 63 son de toxicidad aguda alta, 43 de toxicidad crónica (posible causa de cáncer en humanos), 35 son perturbadores endocrinos, 21 son tóxicos para la reproducción y dos son mutagénicos [42].

El estudio se lleva a cabo en la Subcuenca Río Tecolutla, acorde a las zonas geográficas manejadas por [39]-[40]-[41].

4. Conclusiones

La seguridad alimentaria en México es preocupante debido a las prácticas agrícolas y al riesgo por la presencia de sustancias autorizadas con alta peligrosidad.

Existen pocas evidencias de monitoreos de LMR en México, y en estas se detectaron sustancias no autorizadas y restringidas, esto indica que las buenas prácticas agrícolas no se llevan a cabo de manera satisfactoria.

La Subcuenca Río Tecolutla, es una zona idónea para llevar a cabo este tipo de estudios, debido a la relevancia de la producción citrícola, además que los trabajos de investigación previos en dicha zona proporcionan las bases para realizar el análisis de plaguicidas residuales en cítricos.

El Glifosato y el 2,4-D son los plaguicidas que tienen más probabilidad de localizarse en productos citrícolas, debido a su utilización y las prácticas en su manejo.

Finalmente, por la importancia del tema sería recomendable complementar el análisis de plaguicidas residuales con una estrategia de comunicación de riesgos dirigida a los usuarios de estas sustancias y a la población para abatir los efectos adversos en la salud ambiental y humana.

5. Referencias

- [1] Naciones Unidas (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. En línea <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>> Recuperado 26/09/19.
- [2] FAO, OMS. (2020). Inocuidad de los alimentos, un asunto de todos. En línea <https://www.who.int/docs/default-source/food-safety/campaign-guide-es.pdf?sfvrsn=37873dd9_2> Recuperado el 13/06/2020.
- [3] FAO (2020). Hambre e inseguridad alimentaria. En línea <<http://www.fao.org/hunger/es/>> Recuperado el 13/06/2020.
- [4] Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión (1984, 7 de febrero). Ley General de Salud. Diario Oficial de la Federación. En línea <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/142_240120.pdf> Recuperado el 12/03/2020.
- [5] Muhammad S. (2015). The Dangers of Pesticides Associated with Public Health and Preventing of the Risks. *International Journal of Bioinformatics and Biomedical Engineering*. 1(2), pp 130-136. En línea <<http://www.aiscience.org/journal/ijbbe>> Recuperado el 12/04/2020.
- [6] Ceccon E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos. *Ciencias*, 1(91), pp 21-29. ISSN 0187-6376. En línea <<https://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf>> Recuperado el 12/03/2020
- [7] América Albert L. y Viveros Ruiz A. (2019). Plaguicidas y Ambiente. México. RA: 03-2016-071810215800-01
- [8] OMS (2020). Inocuidad de los alimentos. Datos y cifras. En línea <<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>> Recuperado el 13/06/2020.
- [9] Damalas C. y Koutroubas, S. (2017). Farmers' Training on Pesticide Use Is Associated with Elevated Safety Behavior. *MDPI Toxics*, 5, 19. doi:10.3390/toxics5030019
- [10] COFEPRIS (2016). Catálogo de plaguicidas, Anexo 1 Hojas de Datos. En línea <<http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicid>>

as.aspx> Recuperado el 12/02/2020.

[11] Pesticides Action Network, UK. (2020). *The Cocktail Effect*. En línea <<https://www.pan-uk.org/the-cocktail-effect/>> Recuperado el 25/04/2020.

[12] FAO (2020). Codex Alimentarius, Límites máximos de residuos (LMR). En línea <<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/maximum-residue-limits/es/>> Recuperado el 14/05/2020.

[13] OMS (1997). Guidelines for predicting dietary intake of pesticide residues. En línea <https://www.who.int/foodsafety/publications/chem/en/pesticide_en.pdf> Recuperado el 25/05/2020.

[14] Gerage J., Gasques A., Vieira da Silva M. (2017). Food and nutrition security: pesticide residues in food. *Nutrire* 42:3. En línea <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s41110-016-0028-4.pdf>> Recuperado el 17/04/2020. Doi: 10.1186/s41110-016-0028-4.

[15] FAO (2020). Pesticide Registration Toolkit. En línea <<http://www.fao.org/pesticide-registration-toolkit/registration-tools/assessment-methods/method-detail/en/c/1187112/>> Recuperado el 14/05/2020.

[16] FAO (2020). Codex Alimentarius, Glossary of Terms. En línea <<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/glossary/en/>> Recuperado el 15/05/2020.

[17] FAO y OMS (2018). ¿Qué es el Codex? En línea <<http://www.fao.org/3/CA1176Es/ca1176es.pdf>> Recuperado el 13/06/2020

[18] COFEPRIS. (2020). Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR. En línea <<http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>> Recuperado el 28/03/2020.

[19] The Expert Committee on Pesticide Residues in Food (PRiF). (2020). Report on the pesticide residues monitoring programme: Quarter 4 2019. En línea <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/892731/prif-monitoring-2019-quarter4.pdf>. Recuperado el 14/05/2020.

[20] SAGARPA (1996, 30 de julio). Norma Oficial Mexicana NOM-057-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para emitir el dictamen de análisis de residuos de plaguicidas. Diario Oficial de la Federación. En línea <<http://www.economia-noms.gob.mx/normas/noms/1996/057-fito.pdf>> Recuperado 28/02/19.

[21] SAGARPA (2017, 4 de octubre). Norma Oficial Mexicana NOM-082-SAG-FITO/SSA1-2017. Límites máximos de residuos. Lineamientos técnicos y procedimiento de autorización y revisión. Diario Oficial de la Federación. En línea <<http://www.economia-noms.gob.mx/normas/noms/2010/082sagfitossa117.pdf>> Recuperado 28/02/19.

[22] SAGARPA (2014, 19 de agosto). Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-000-SAG-FITO/SSA1-2013, Límites máximos de residuos. Lineamientos técnicos y procedimiento de autorización y revisión. Diario Oficial de la Federación. En línea <<http://www.economia-noms.gob.mx/normas/noms/2010/p000sagfito20141.pdf>> Recuperado 28/02/19.

- [23] SADER (2019). Programa Nacional de Control y Monitoreo de Residuos Tóxicos en Bienes de origen animal y recursos acuícolas y pesqueros. En línea <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/510704/Programa_Nacional_de_Control.pdf> Recuperado el 25/05/2020.
- [24] Pesticides Action Network, UK. (2017). Pesticides in Our Food. En línea <<https://www.pan-uk.org/site/wp-content/uploads/Pesticides-in-our-food-multiple-residues-June-2019-1.pdf>> Recuperado el 28/04/2020.
- [25] SAGARPA (2018). Atlas Agroalimentario 2012-2018: la transformación productiva del campo mexicano. En línea <https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018> Recuperado el 23/11/19.
- [26] Naciones Unidas (2020). Nuestros sistemas alimentarios están fallando y la pandemia del coronavirus agrava la situación. En línea <<https://news.un.org/es/story/2020/06/1475712>> Recuperado el 28/06/2020.
- [27] García J., Leyva J., Martínez I., Hernández M., Aldana M., Rojas A., Betancourt M., Pérez N., Perera J. (2017). Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 34 (especial sobre contaminación y tecnología por plaguicidas (CTP)), pp 20-60. En línea <<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2018.34.esp01.03/0>> Recuperado el 28/03/2020.
- [28] SENASICA (2020). Centro Nacional de Referencia de Plaguicidas y Contaminantes. En línea <<https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/centro-nacional-de-referencia-de-plaguicidas-y-contaminantes-cnrpyc>> Recuperado el 24/03/2020.
- [29] Pérez, M., Navarro, H., Miranda, E., (2013). Residuos de plaguicidas en hortalizas: problemática y riesgos en México. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 29 (número especial sobre plaguicidas), pp 45-64.
- [30] Prestes, O., Friggi, C., Adaime, M., Zanella, R. (2009). Um método moderno de preparo de amostra para determinação multirresíduo de pesticidas em alimentos por métodos cromatográficos acoplados à espectrometria de massas. *Quím. Nova*.
- [31] Martha I. Páez, J. M. (2015). Implementación de la metodología QuEChERS en el análisis de residuos de plaguicidas en maíz blanco (*Zea mays*). *Temas Agrarios*, 30 - 42.
- [32] Lehotay S. (2005). Validation of a fast and easy method for the determination of residues from 229 pesticides in fruits and vegetables using gas and liquid chromatography and mass spectrometric detection. *J. AOAC Int.* 88, 595-614.
- [33] Kmellár B., Fodor P., Pareja L., Ferrer C., Martínez-Uroz M. A., Valverde A. y Fernandez-Alba A. R. (2008). Validation and uncertainty study of a comprehensive list of 160 pesticide residues in multi-class vegetables by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* 1215, 37-50.
- [34] Camino-Sánchez F. J., Zafra-Gómez A., Oliver-Rodríguez B., Ballesteros O., Navalon A., Crovetto G. y Vílchez J. L. (2011). UNE_EN ISO/IEC 17025:2005 accredited method for the determination of 121 pesticide residues in fruits and vegetables by gas chromatography tandem

mass spectrometry. J. Food Compos. Anal. 24, 427-440

[35] Banerjee K., Utture S., Dasgupta S., Kandaswamy C., Pradhan S., Kulkarni S. y Adsule P. (2012). Multiresidue determination of 375 organic contaminants including pesticides, polychlorinated biphenyls and polyaromatic hydrocarbons in fruits and vegetables by gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry with introduction of semi-quantification approach. J. Chromatogr. A 1270, 283-295.

[36] Sungura S. y Tunur Ç. (2012). Investigation of pesticide residues in vegetables and fruits grown in various regions of Hatay, Turkey. *Food Addit. Contam.* B 5, 265-267.

[37] Lehotay, S. (2004). Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe (QuEChERS). Wyndmoor: U.S. Department of Agriculture.

[38] SENASICA (2019). Criterios de aceptación de las muestras enviadas a los laboratorios del SENASICA. En línea
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/505702/2._Criterios_de_aceptaci_n_de_las_muestras-SENASICA.pdf> Recuperado el 20/06/2020.

[39] Carrillo Morales C. (2016). *Uso de herbicidas y su distribución espacial en la Subcuenca Río Tecolutla. (municipios: Tecolutla, Gutiérrez Zamora y Papantla)*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD), IPN.

[40] Morales Rangel Ana Isabel, (2016). *Análisis del comportamiento ambiental de los herbicidas de mayor uso en la Subcuenca Río Tecolutla, Veracruz*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD), IPN.

[41] Rangel González P. (2017). *Determinación de herbicidas en las matrices ambientales: suelo y agua, en Papantla, Veracruz*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD), IPN.

[42] Bejarano et al. (2017). *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México*. Edo de México: Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A. C. (RAPAM).

Evaluación de Impacto Ambiental en la Estación de Transferencia de Tianguistenco, Estado de México

¹Miriam Gómez Espinoza, ^{1*}María de la Luz Jiménez Núñez, ¹María del Consuelo Hernández Berriel, ²María del Consuelo Mañón Salas, ¹José Luis García Rivas

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico S/N. Col. Agrícola Bellavista. C.P. 52149. Metepec, Estado de México, México. Teléfono (01 722)2087224 *mjimenezn@toluca.tecnm.mx

²Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos, A.C. Priv Molcajete 44. Fracc. Hacienda de las Fuentes, Calimaya, Estado de México, C.P. 52227, México.

Resumen

La finalidad de una Estación de Transferencia es retener los Residuos Sólidos Urbanos de manera temporal, para su posterior transferencia y transporte al sitio de disposición final; sin embargo, en muchas ocasiones estos sitios no cuentan con infraestructura adecuada para realizar estas actividades, lo cual puede afectar negativamente al medio ambiente y a la población aledaña. Debido a probables afectaciones, el presente trabajo evaluó el Impacto Ambiental de la Estación de Transferencia de residuos sólidos de Tianguistenco, Estado de México; involucrando conocimientos de ingeniería ambiental e ingeniería civil. Se empleó la Matriz de Leopold configurada con factores, atributos y actividades de operación de la Estación de Transferencia, los cuales se identificaron y evaluaron mediante investigación documental, inspección física del sitio y análisis topográfico y cartográfico de la zona. La Evaluación de Impacto Ambiental de la Estación de Transferencia evidenció en los seis factores ambientales analizados, afectaciones negativas en la mayoría de sus atributos; reflejando como áreas de oportunidad prioritarias las actividades de retención y transferencia de los Residuos Sólidos Urbanos, de Manejo Especial y Peligrosos; así como el manejo de los lixiviados y del biogás. El nivel de impacto obtenido con la matriz de Leopold fue Moderado, debido a que cuenta con infraestructura para la transferencia de residuos, sin embargo, requiere obras para la contención y control de biogás y lixiviados, así como de fauna nociva, que podrían ocasionar desequilibrio ecológico en las zonas aledañas a la Estación de Transferencia, incluyendo la Laguna de Almoloya del Río.

300

Palabras Clave: Estación de Transferencia, Impacto Ambiental, Matriz de Leopold, Residuos sólidos.

1. Introducción

El Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (MIRSU) comprende las actividades que van desde la reducción en la fuente hasta la disposición final, pasando por el acopio, retención y transferencia de residuos [1].

Una Estación de Transferencia (ET) funge como enlace intermedio en el MIRSU, en la cual, se reciben los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de vehículos recolectores, permanecen durante un corto tiempo para posteriormente transferirlos a un vehículo de mayor capacidad y transportarlos a la planta de tratamiento o al Sitio de Disposición Final (SDF) [2], [3]. En ocasiones, los RSU que llegan a las ET contienen Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP), los cuales impactan en mayor medida al medio ambiente y requieren un tratamiento para su disposición final que no se puede realizar en las ET. Las ET se diseñan e implementan principalmente para evitar recorrer largas distancias para descargar los RSU en una planta de tratamiento o SDF [4]; sin embargo, en muchas ocasiones, no se cubren los requisitos de funcionamiento y diseño, lo que se traduce en afectaciones ambientales al ecosistema en que se encuentran, por tal motivo, es necesario realizar una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) con el fin de identificar puntos a mejorar de su operación y minimizar dichas afectaciones [5].

El impacto ambiental define la alteración del medio ambiente respecto a un estado de referencia, el cual es causado por las actividades humanas realizadas en el entorno [6]. Existen diferentes metodologías para realizar la EIA, siendo la matriz de Leopold, la herramienta por excelencia utilizada para este fin [7]. La EIA por RSU mediante la matriz de Leopold ha sido realizada en diferentes estudios [8], [9] – [11].

La matriz de Leopold fue desarrollada en 1971 consiste en una matriz bidimensional de referencia cruzada, que muestra las interacciones factor ambiental-acción de cualquier etapa de un proyecto; es decir, desde la planeación hasta su desmantelamiento o abandono [7], [8]. En cada celda se reflejan dos valores separados por una diagonal. El valor superior llamado Magnitud (m) se refiere a la cantidad física [12] y está relacionada con la intensidad de la actividad y la afectación sobre el factor analizado [9], [10], es precedido de un signo positivo o negativo, dependiendo si el impacto es benéfico o perjudicial para el recurso [7]. El valor inferior se denomina Importancia (i) y es la trascendencia del impacto, expresado mediante una cifra subjetiva, el cual puede ser diferente de la m y sólo puede recibir valores positivos [12]; la i se encuentra relacionada con la influencia y duración de la actividad analizada sobre el factor en estudio.

El municipio de Tianguistenco, Estado de México, cuenta con una ET que da servicio a la población municipal, la cual se reporta de 77,147 ha por [13] y 80,887 ha por [14]. La generación per cápita de RSU fue de 0.848 kg/hab/día en el año 2015, lo que representó 64 t/día de RSU, de las cuales 30 t correspondieron a generación domiciliaria y 34 t a otras fuentes [15]. Los residuos recolectados son acopiados en la ET y transferidos al SDF ubicado en el municipio de Xonacatlán, Estado de México. Dada la importancia de esta ET y debido a probables afectaciones, en el presente trabajo se realizó la EIA mediante la matriz de Leopold.

2. Metodología

La metodología empleada para la EIA de la ET de Tianguistenco consistió en tres etapas: la primera fue la localización y análisis cartográfico de la zona donde se ubica la ET; la segunda comprendió las visitas para la inspección física y el estudio topográfico de la ET; y en la tercera se aplicó la Matriz de Leopold.

2.1 Localización y análisis cartográfico

La ubicación de la ET fue solicitada al Ayuntamiento del municipio de Tianguistenco, Estado de México, a través de la Dirección de Servicios Públicos. Mediante la información proporcionada y con la herramienta Arcgis [16] se elaboró la cartografía de la zona donde se encuentra la ET. Se ubicaron los cuerpos de agua y con la topografía de la zona aledaña, se analizaron las pendientes naturales y los escurrimientos.

2.2 Visitas para la inspección física y estudio topográfico

Se realizó la primera visita que fue guiada por el personal de la Dirección de Servicios Públicos, para llevar a cabo la inspección física de la zona y de la ET. Durante la misma se registraron las características físicas del relieve del terreno, las colindancias, la ubicación de asentamientos poblacionales, áreas de cultivo, cuerpos de agua y la operación de la ET.

En la segunda visita se realizó el levantamiento topográfico, realizado con una brigada de trabajo compuesta por cuatro personas, empleando una Estación Total marca Topcom, modelo Gowin 202, montada sobre un tripié marca Geosurv y el prisma de la Estación Total. Los datos obtenidos fueron procesados empleando el complemento Civilcad para Autocad 2014 y con ello se estableció la distribución de las áreas de operación de la ET, la superficie de la zona de acopio, retención y compactación de RSU, así como las curvas de nivel de la ET. Con la información recolectada durante las visitas fue posible determinar el tipo de ET, de acuerdo a los requisitos de funcionamiento y diseño descritos en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación y características de las estaciones de transferencia

Tipo de estación	Funcionamiento	Diseño
De descarga directa (ETD)	Registro y pesado de los vehículos Vaciado por gravedad No almacenar desechos Constante movilidad de vehículos Equipo de transferencia requerido: Tractocamiones de caja abierta	Techumbre de lámina de asbesto Básculas Caseta de control Patio de maniobras de vehículos de transferencia Acceso/salida de recolectores Líneas de servicio con cuatro servidores (tolvas) Aspersores de agua para el control de polvos en las tolvas Sistemas de ventilación mecánica Acceso, estacionamiento y salida de vehículos de transferencia
De descarga indirecta (ETI)	Registro y pesado de los vehículos en básculas computarizadas Fosa de almacenamiento o plataforma La carga a los vehículos de transferencia emplea equipos auxiliares Equipo de transferencia requerido: Tractocamiones de caja de transferencia abierta, grúas, almeja	Techumbre del patio de descarga Fosa principal Caseta de control Básculas Diseño especial de vías de seguridad en el borde de la fosa Rampa de acceso, patio de maniobras y rampa de salida de vehículos recolectores Estacionamiento de cajas de transferencia Área de despunte de cajas de transferencia Estacionamiento de tractocamiones Salida de vehículos de transferencia

Adaptado de [2]

2.3 Aplicación de la Matriz de Leopold

Se configuró la Matriz de Leopold para la ET, colocando en las filas los factores ambientales y sus atributos, los cuales se obtuvieron de los listados propuestos en estudios previos [7], [9], [10]. En las columnas se pusieron las actividades del funcionamiento detectadas durante la visita en la ET. La asignación de los valores para los criterios m e i se realizó dentro de la escala 1 a 10, conforme a la inspección visual, considerando la clasificación y valoración indicadas en la Tabla 2. El valor de la m se asignó precedido de un signo positivo o negativo, dependiendo si el impacto fue benéfico o perjudicial para el atributo [6], [7].

Tabla 2. Criterios de valoración de Impacto Ambiental

Criterio	Clasificación	Valoración	Criterio	Clasificación	Valoración
Magnitud (m)	Intensidad	Baja (1 - 3)	Importancia (i)	Influencia	Puntual (1 - 3)
		Media (4 - 6)			Local (4 - 6)
		Alta (7 - 9)			Regional (7 - 9)
		Muy alta (10)			Nacional (10)
	Afectación	Baja (1, 4, 7)		Duración	Temporal (1, 4, 7)
		Media (2, 5, 8)			Media (2, 5, 8)
		Alta (3, 6, 9)			Permanente (3, 6, 9)
		Muy alta (10)			

Modificado de [9], [10]

Posteriormente se calculó la Calificación Ambiental (Ca) mediante la ecuación (1) [9] [10]. Una vez obtenida la Ca se procedió a su clasificación dentro de los cuatro niveles de impacto: Irrelevante o compatible ($0 \leq Ca < 2.5$), Moderado ($2.5 \leq Ca < 5.0$), Severo ($5.0 \leq Ca < 7.5$) o Crítico ($7.5 \leq Ca$) [17]. Cabe hacer mención que el producto denotado como $\Sigma m * i$ se denomina Índice Global de Impacto Ambiental (IGIA) [7].

$$Ca = \sqrt{\frac{|\Sigma m * i|}{n}} \quad (1)$$

Donde:

Ca = Calificación ambiental

m = Magnitud

i = Importancia

n = Número de interacciones

3. Resultados y discusión

Los resultados de cada etapa de la investigación se detallan a continuación.

3.1 Localización y análisis cartográfico

El Ayuntamiento de Tianguistenco a través de la Dirección de Servicios Públicos indicó que la ET se encontraba ubicada en la Carretera La Marquesa-Tenango, en el paraje denominado “Yolotzingo” a la altura de la comunidad de San Lorenzo Huehuetitlán [14].

Con la herramienta Arcgis [16] se obtuvo el mapa cartográfico que se muestra en la Figura 1, donde se resalta la capa correspondiente a la topografía de las zonas aledañas a la ET y la distancia de ésta a la Laguna de Almoloya del Río.

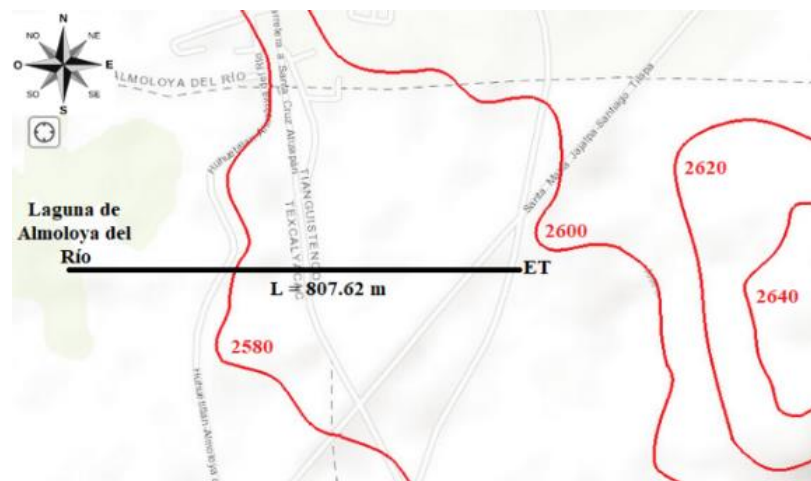


Figura 1. Información cartográfica de la ET de Tianguistenco [16]

Como se puede observar en la Figura 1, la Laguna de Almoloya del Río se encuentra ubicada al poniente de la ET, a una distancia de 807.62 m. La pendiente natural de la orografía de la zona es en dirección oriente-poniente; es decir, hacia la Laguna, lo cual puede propiciar que en época de lluvias se generen escurrimientos que favorezcan el transporte de contaminantes de la ET hacia el cuerpo de agua.

3.2 Visitas para la inspección física y estudio topográfico

Con apoyo del personal de la Dirección de Servicios Públicos de Tianguistenco, Estado de México, se realizó la primera visita a la ET. En esta inspección física se observó que la ET se encuentra en la parte alta de una colina, sus alrededores son zonas verdes naturales, las partes bajas presentan asentamientos poblacionales, áreas de cultivo y la Laguna de Almoloya del Río. Lo anterior concuerda con lo identificado en la cartografía (Figura 1) y se puede apreciar en la Figura 2. También se detectó que el acceso y la salida para los vehículos recolectores y de transferencia (góndolas), es sobre terracería con pendiente pronunciada, lo cual favorece que el suelo de las partes bajas permanezca anegado la mayor parte del año, esta humedad se forma por escurrimientos naturales de escorrentías provenientes de los RSU. En la sección adyacente al acceso se encuentra el patio de carga, el cual cuenta con una línea de servicio de descarga por gravedad.



Figura 2. Inspección física de los alrededores de la ET de Tianguistenco [16]

En la zona de acopio y retención la cantidad de residuos fue variable debido a que algunas veces sí se cumplía con la periodicidad de la transferencia y otras no. Los residuos acopiados estaban compuestos principalmente por materia orgánica e inorgánica (plásticos y metales); detectándose también la presencia de residuos electrodomésticos, de construcción, baterías y aceite; los cuales se encuentran catalogados dentro de los RME y RP [1].

La superficie de esta zona está compuesta por suelo natural aparentemente compactado y no cuenta con barrera impermeable. Para realizar la operación de la ET, el municipio arrenda un buldócer de orugas, eventualmente una retroexcavadora y el servicio de transporte en góndolas; estos equipos son impulsados por motor a diésel. El personal que labora es contratado por el propio Ayuntamiento, sin embargo, existe la presencia de segregadores primarios originarios de la comunidad y los alrededores, los cuales separan residuos valorizables [18].

Del estudio topográfico de la ET se obtuvo la distribución de las áreas de operación: acceso y/o salida, el patio de carga, la línea de servicio de una descarga y la zona de acopio y retención de RSU; ésta zona cuenta con una superficie de 3,150.54 m² (Figura 3a). Se corroboró que los niveles decrecen en dirección oriente-poniente y que la zona de carga se encuentra 5 m debajo de la línea de servicio, lo cual permite la descarga por gravedad mediante un buldócer (Figura 3b).

De acuerdo a lo observado, la ET de Tianguistenco se clasificó como una *ETD* [2], [15]. Sin embargo, no cumple con algunos de los lineamientos de diseño y funcionamiento establecidos en la Tabla 1 [2], debido

a la falta de una barrera protectora entre el suelo y los residuos, tal como una fosa, plantilla o geomembrana. Además, carece de Techumbre que proteja el patio de maniobras de la lluvia y la radiación solar y en algunas ocasiones no se realiza la transferencia diaria de los residuos a las góndolas para su traslado al SDF. Al no contar con una caseta de control y báscula se puede saturar y disminuir el espacio libre para maniobras, consecuentemente exceder la capacidad de carga del suelo [19], lo cual pudiera ocasionar derrumbes de los taludes y vibraciones, poniendo en riesgo a las personas que laboran en la ET y a los habitantes de las zonas bajas aledañas.

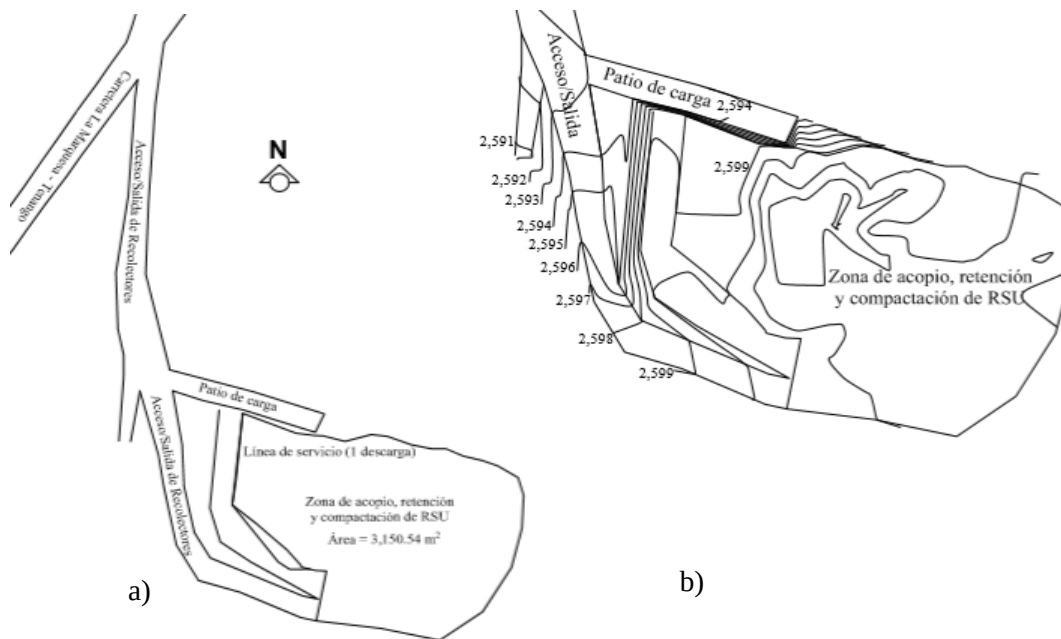


Figura 3. Áreas en operación de la ET de Tianguistenco

3.3 Aplicación de la matriz de Leopold

La asignación de los valores en cada celda de interacción de los Factores-Actividades de la ET, se realizó analizando la información recabada en las visitas y seleccionando valores de acuerdo a la Tabla 2. La matriz de Leopold con los valores de m e i para las interacciones consideradas se muestra en la Figura 4.

Los valores de la m se consideraron en su mayoría negativos, por ser perjudiciales para los Atributos de los Factores (Suelo, Agua, Atmósfera, Flora, Fauna y Estético y de interés humano); las intensidades asignadas fueron baja (3), media (6) y alta (9); lo cual representa afectaciones altas de acuerdo a lo indicado en la Tabla 2. Los valores correspondientes a la i (1 a 6) se asignaron con base a la influencia territorial y la duración de las actividades sobre los Factores analizados; estas se ponderaron en el rango Local como máximo, ya que únicamente se evaluó la operación de la ET y no el ciclo de vida de los residuos. [9], [10].

En vista de que el proceso de la evaluación mediante la matriz de Leopold es amplio, en este trabajo únicamente se describe la valoración del Factor Suelo, en sus seis interacciones para el Atributo denominado Cambio de uso de suelo.

Para la interacción Cambio de uso de suelo vs Transporte y descarga, se consideró una intensidad media, debido a que esta actividad se realiza de manera intermitente, la afectación es alta porque los vehículos recolectores generan compactación y erosión del suelo, lo cual impide el desarrollo o crecimiento de

vegetación; de manera que a la m se le asignó un valor de -6 y una i de 3, ya que se origina un impacto permanente e irreversible en los accesos y patio de maniobras de la ET (Figura 4).

		OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA							AFECTACIONES					N. DE IMPACTO			
		a) Transporte y descarga	b) Acopio y retención de RSU y RME	c) Acopio y retención de RP	d) Compactación y transferencia	e) Manejo de lixiviados	f) Manejo de biogás	g) Contratación de maquinaria personal y servicios	Sumatoria	Índice Global de Impacto Ambiental (IGIA)	Positivas	Negativas	Número de interacciones	Irrelevante (0 ≤ Ca < 2.5)	Moderado (2.5 ≤ Ca < 5.0)	Severo (5.0 ≤ Ca < 7.5)	Crítico (7.5 ≤ Ca)
FACTORES	ATRIBUTOS																
Suelo	Calidad del suelo	-6 1	-9 2	-6 3	-3 5	-6 6	-3 5	3 4	-30 26	-96	1	6	7		3.7		
	Cambio de uso de suelo	-6 3	-9 5	-6 6	-3 1	-6 5	-3 5		-33 25	-147	0	6	6		4.9		
	Estabilidad de suelo	-6 3	-6 2	-6 2	-3 3	-6 3	-3 3	3 1	-27 17	-75	1	6	7		3.3		
Agua	Calidad del agua		-6 6	-6 6	-3 3	-9 6			-24 21	-135	0	4	4			5.8	
	Escurrecimientos		-6 5	-6 5	-3 5	-6 6			-21 21	-111	0	4	4			5.3	
	Subterránea		-6 6	-6 6	-3 3	-9 6			-24 21	-135	0	4	4			5.8	
Atmósfera	Material particulado	-6 4	-6 4	-6 4	-6 4	-6 4	-3 4	-1 4	-34 28	-136	0	7	7		4.4		
	Ruidos	-6 1	-1 1	-1 1	-3 1			-1 1	-12 5	-12	0	5	5	1.5			
	Gases	-6 4	-6 4	-6 4	-3 4	-6 4	-3 4		-30 24	-120	0	6	6		4.5		
	Olores	-6 1	-6 3		-3 4	-6 4	-3 4		-24 16	-72	0	5	5		3.8		
Flora	Productos agrícolas (maíz)		-4 5	-6 5		-6 5	-6 4		-22 19	-104	0	4	4			5.1	
	Remoción de cobertura vegetal	-3 3	-3 3	-3 3	-3 3	-6 3	-6 3		-24 18	-72	0	6	6		3.5		
Fauna	Especies nativas	-6 6	-6 6	-6 6	-6 5	-9 6	-3 5	-3 2	-39 36	-213	0	7	7			5.5	
	Especies invasivas	-6 5	-6 5		-1 1	-6 5			-19 16	-91	0	4	4		4.8		
Estético y de interés humano	Vistas panorámicas y paisajes		-9 2		-3 2	-9 2			-21 6	-42	0	3	3		3.7		
	Calidad de espacio abierto	-6 2	-9 2		-3 3	-6 2	-6 3		-30 12	-69	0	5	5		3.7		
	Salud poblacional	-6 5	-6 3	-3 3	-3 6	-9 6	-6 5		-33 28	-159	0	6	6			5.1	
	Seguridad laboral	-3 4	-6 4	-3 4	-3 4	-3 4	-6 3	-2 4	-26 27	-98	0	7	7		3.7		
AFECTACIONES	Sumatoria	-72 42	-110 68	-70 58	-55 57	-114 77	-51 48	-1 16	-473 366								
	Agregación de los impactos	-231	-417	-313	-196	-528	-198	-4		-1887							
	Positivas	0	0	0	0	0	0	2			2						
	Negativas	13	18	14	17	17	12	4				95					
	Número de interacciones	13	18	14	17	17	12	6					97				
NIVEL DE IMPACTO	Irrelevante (0 ≤ Ca < 2.5)							0.8									
	Moderado (2.5 ≤ Ca < 5.0)	4.2	4.8	4.7	3.4		4.1										
	Severo (5.0 ≤ Ca < 7.5)					5.6											
	Crítico (7.5 ≤ Ca)																

Figura 4. Matriz de Leopold para la EIA de la ET de Tlanguistenco, Estado de México

Otra interacción es Cambio de uso de suelo vs Acopio y retención de RSU y RME. Para valorar esta interacción se consideró que los residuos recibidos diariamente en la ET son depositados en la zona de acopio y retención, lo que genera una constante liberación de contaminantes, entre ellos fragmentos de residuos sólidos, material particulado y lixiviados, que aún en pequeñas cantidades impactan en gran medida por la falta de medios de contención ($m = -9$). Por otra parte, la influencia se consideró local, debido a la movilidad de residuos con el viento, segregadores primarios y fauna invasiva; aunque los residuos no permanecen durante largos periodos de tiempo en la ET, solamente cuando se presentan eventualidades como fallas en la maquinaria ($i = 5$).

La interacción Cambio de uso de suelo vs Acopio y retención de RP, se evaluó de manera similar a la interacción anterior, considerando que la cantidad de RP identificados durante las visitas fue baja, sin embargo, los impactos generados son graves e irreversibles ($m = -6$, $i = 6$).

Para el Cambio de uso de suelo vs Compactación y transferencia, se consideró una intensidad baja. Esta actividad se realiza pocas veces al día, pero la afectación es alta porque las maniobras del buldócer ocasionan la escarificación y despálme de la superficie del terreno en la zona de acopio y retención, favoreciendo la interacción de los contaminantes con el suelo ($m = -3$). Esta actividad se realiza en periodos cortos de tiempo y únicamente en la zona de maniobras, por lo que se consideró una influencia puntual con duración temporal ($i = 1$).

En la interacción Cambio de uso de suelo vs Manejo de lixiviados se asignó un valor de intensidad media, debido a que se tiene la presencia de lixiviados constantemente. Estos son producidos por la degradación de la materia orgánica y arrastre de la misma; la afectación se consideró alta por la composición del lixiviado ($m = -6$). El lixiviado escurre por las pendientes de la ET hasta las áreas verdes y de cultivo aledañas; mientras que el viento transporta material particulado, derivado del desecado del lixiviado y lo dispersa a mayor distancia. El lixiviado puede llegar a infiltrarse, sin embargo, las condiciones climáticas no permiten que se genere gran cantidad de éste, excepto en temporada de lluvias ($i = 5$). La evaluación de esta interacción muestra que se pueden llegar a ocasionar daños a la salud humana, a las plantas y a los animales [20], [21].

La última interacción para el Factor Suelo es Cambio de uso de suelo vs Manejo de biogás (Tabla 4), se evaluó tomando en cuenta la generación de biogás por la biodegradación de la fracción orgánica presente en los residuos. Esta generación, aunque pudiera ser baja, contiene gases de efecto invernadero (CH_4 , CO_2) [22] y SO_2 , los cuales son arrastrados por el viento y al mezclarse con agua atmosférica pueden precipitarse en forma de lluvia ácida ($m = -3$, $i = 5$).

Los Factores que presentaron mayor afectación en la evaluación fueron: Suelo, en su atributo de Cambio de uso de suelo; Agua, en los tres atributos analizados: Calidad, Ecurrimientos superficiales y Agua subterránea; Atmósfera, en sus atributos Material particulado y Gases; Flora, en cuanto a Productos agrícolas (maíz); Fauna, en su atributo Especies nativas, debido a la migración, ahuyentamiento y envenenamiento de especies endémicas; y el Factor Estético y de interés humano, en su atributo Salud poblacional.

Las actividades englobadas en la Operación de la ET que denotaron mayor afectación sobre los Factores y Atributos ambientales fueron Transporte y descarga; Acopio y retención de RSU, RME y RP; así como Manejo de lixiviados y biogás (Figura 4).

Como resultado final de la EIA con la matriz de Leopold, se obtuvo un nivel de impacto Moderado ($Ca = 4.0$) para la ET de Tianguistenco, Estado de México, debido a que, si bien cuenta con áreas para el acopio, retención, compactación y transferencia de residuos, la infraestructura resulta insuficiente para el manejo de los residuos que recibe y transfiere, así como para los lixiviados y biogás generados.

4. Conclusiones

El empleo de la Matriz de Leopold permitió la EIA de la ET de manera objetiva, detectando como áreas prioritarias a atender las actividades de retención y transferencia de RSU, RME y RP; así como el manejo de lixiviados y biogás.

La ET presentó un impacto de nivel Moderado, cumpliendo con algunos de los requerimientos de operación y presentando afectaciones en su mayoría negativas para los Atributos de los Factores analizados (Suelo, Agua, Atmósfera, Flora, Fauna y Estético y de interés humano), principalmente por el nulo manejo de lixiviados y la permanencia por más de 24 horas de los RSU.

Se requiere gestionar la construcción de una barrera física para evitar el contacto directo de los RSU y los lixiviados con el suelo; así como la instalación de una techumbre en el patio de maniobras para evitar la incidencia directa de la radiación solar y lluvia.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la beca CONACYT para posgrado y el financiamiento del proyecto SEMARNAT-2015-1-263315 denominado “Ubicación de rellenos sanitarios intermunicipales futuros en el Estado de México y estados aledaños”.

Referencias Bibliográficas

- [1] DOF (2003) Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. En línea <<https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos-62914>> Recuperado el 06/06/2020.
- [2] Ramos, C., Carmona, R., Cano, P. & Semadeni, I. (1996) Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas. En línea <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/121/105_1996_Estaciones_transferencia_residuos_solidos.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Recuperado el 17/06/20.
- [3] Liu, J., & Zheng, G. (2020). "Emission of volatile organic compounds from a small-scale municipal solid waste transfer station: Ozone-formation potential and health risk assessment". *Waste Management*, 106, 193–202. doi:10.1016/j.wasman.2020.03.031
- [4] Turcott Cervantes, D. E., López Martínez, A., Cuartas Hernández, M., & Lobo García de Cortázar, A. (2018). "Using indicators as a tool to evaluate municipal solid waste management: A critical review". *Waste Management*. 80. 51-63. doi: 10.1016/j.wasman.2018.08.046
- [5] Santos-Burgoa, C., Rojas-Bracho, L., Barrera-Romero, N., Ongay-Delhumeau, E., & Escamilla-Cejudo, J. A. (1992). "Método para estimar el riesgo poblacional atribuible a una estación de transferencia de desechos sólidos municipales". *Salud Publica de México*. 34. 489-498.
- [6] Cossu, R., Pivato, A., & Barausse, A. (2018). Chapter 17.1 - Environmental Impacts Assessment (R. Cossu & R. B. T.-S. W. L. Stegmann (eds.); *Solid Waste Landfilling*, Elsevier, pp 939-954, doi:10.1016/B978-0-12-407721-8.00045-0
- [7] León Peláez, J. (2004). *Evaluación del Impacto Ambiental de Proyectos de Desarrollo* (J. A. Correa Metrio (ed.)). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001413.pdf>
- [8] Al-Nasrawi, F. A., Kareem, S. L., & Saleh, L. A. (2020). "Using the Leopold Matrix Procedure to Assess the Environmental Impact of Pollution from Drinking Water Projects in Karbala City, Iraq". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 671 / 012078. doi:10.1088/1757-899X/671/1/012078
- [9] Mendoza Delgado J. G. (2017) *Evaluación del Impacto Ambiental de Tiraderos a Cielo Abierto de municipios vecinos del Estado de México, Morelos y Guerrero*. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Instituto Tecnológico de Toluca, México.
- [10] López Gasca S. O. (2020) *Propuesta de Ubicación y Prediseño de un Relleno Sanitario Sustentable Intermunicipal, entre Morelos y el Estado de México*. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Campus Toluca, México.

- [11] Valizadeh, S., & Hakimian, H. (2019). "Evaluation of waste management options using rapid impact assessment matrix and Iranian Leopold matrix in Birjand, Iran". *International Journal of Environmental Science and Technology*. doi: 10.1007/s13762-018-1713-z
- [12] Espinoza, G. (2002). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. In G. Espinoza & V. Alzina (Eds.), Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Centro de Estudios para el Desarrollo (CED). En línea <<http://www.ced.cl/ced/wp-content/uploads/2009/03/gestion-y-fundamentos-de-eia.pdf>> Recuperado el 12/06/2020
- [13] INEGI (2015) Información de México para niños. En línea <<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mex/poblacion/>> Recuperado el 11/06/2020.
- [14] H. Ayuntamiento de Tianguistenco (2019) Plan de Desarrollo Municipal 2019 – 2021. En línea <<http://tianguistenco.gob.mx/Documentos/UIPPE/PDM-Tianguistenco-2019-2021-FINAL.pdf>> Recuperado el 11/06/2020.
- [15] Centro Mario Molina (2015) Estudio de valorización y aprovechamiento de residuos sólidos urbanos en el Estado de México Producto 6 Integración de todos los estudios y propuestas (Plan de Gestión Integral de RSU). En línea <https://valorsum.com/wp-content/uploads/2018/06/Producto-6-Plan-GIRSU_VFfinal.pdf> Recuperado el 11/06/2020.
- [16] ESRI (2020). ArcGIS Desktop. Topography Geodatabase En línea <<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/>> Recuperado el 12/06/2020.
- [17] Dupin, M., Pérez, L., Guerra, B., Goya, F. A., Ibarra, E. V., & Pérez, F. (2018). "Evaluación del desempeño ambiental del matadero "Chichi Padrón". *Revista Centro azúcar*, 45, pp 32-40.
- [18] Saavedra Aguilera, A., Buenrostro Delgado, O., Hernández Berriel, M., & Carreño de León, M. (2018) "Valorización de materiales susceptibles de recuperación de los residuos sólidos urbanos en municipios del Oriente de Michoacán y el Estado de México". *Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos*, 11, 359-365.
- [19] Owusu-Nimo, F., Oduro-Kwarteng, S., Essandoh, H., Wayo, F., & Shamudeen, M. (2019). Characteristics and management of landfill solid waste in Kumasi, Ghana. *Scientific African*, 3, e00052. doi: 10.1016/j.sciaf.2019.e00052
- [20] Sackey, L. N. A., Kočí, V., & Van Gestel, C. A. M. (2020). Ecotoxicological effects on *Lemna minor* and *Daphnia magna* of leachates from differently aged landfills of Ghana. *Science of the Total Environment*. 698/ 134295, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134295
- [21] Zou, Q., Li, D., Jiang, J., Aihemaiti, A., Gao, Y., Liu, N., & Liu, J. (2019). Geochemical simulation of the stabilization process of vanadium-contaminated soil remediated with calcium oxide and ferrous sulfate. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 174, 498–505. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.02.082
- [22] Hernández-Berriel, M.C., Hernández, I., Clemishaw, K., Cuevas, J., & Otoniel, Buenrostro. (2019). "Evaluation of confinement conditions and content of lignocellulosic compounds on urban solid waste biodegradation rates". *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*. 32. 91-100. 10.20937/RICA.2019.35.esp02.09.

Evaluación de la fitotoxicidad de biosólidos provenientes de la estabilización de lodos fisicoquímicos mediante digestión anaerobia

¹Mariana Mendoza Sánchez, ²Perla Xochitl Sotelo Navarro, ¹Rosa María Espinosa Valdemar, ¹Karen Yazmín Moctezuma Parra

¹ Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Avenida San Pablo No. 180 Col. Reynosa Tamaulipas C:P: 02200
Alcaldía Azcapotzalco e-mail:al2173803642@alumnos.azc.uam.mx.

² Cátedra CONACYT-CINVESTAV, Avenida Instituto Politécnico Nacional 2508, Laguna Ticomán, 07360 Ciudad de México.

Resumen

En México pocas veces se estabilizan los lodos provenientes del tratamiento de las aguas residuales y en general se vierten en el sistema de alcantarillado. Debido a su contenido de materia orgánica y nutrientes, los lodos son susceptibles de estabilización biológica obteniendo un biosólido. Este proyecto tuvo como objetivo evaluar la fitotoxicidad de biosólidos provenientes de la digestión anaerobia de lodos fisicoquímicos provenientes de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco. Se realizaron dos pruebas, la primera consistió en establecer contacto directo de las semillas con los biosólidos y la segunda prueba tuvo la finalidad de visualizar los efectos de los biosólidos sobre el crecimiento en plántulas centrándose en la raíz, parte aérea y generación de biomasa. Los resultados demostraron que es factible la aplicación de los biosólidos obtenidos sobre las especies vegetales evaluadas (girasol y cempaxúchitl).

El girasol mostró índices de germinación superiores al 50% con excepción del biosólido L80-I20. En la prueba en plántulas, los biosólidos produjeron disminución del crecimiento de la parte aérea. El cempaxúchitl fue la especie vegetal que presentó menores índices de germinación en dos de los tipos de biosólidos, 9.7 y 11.3 para L100 e I100 respectivamente. Sin embargo, para el cempaxúchitl en general se favoreció el crecimiento y la generación de biomasa.

Palabras Clave: biosólidos, fitotoxicidad, índice de germinación y plántulas

1. Introducción

Desde el 2006 la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco (UAM-A) cuenta con una Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales (PPTAR) que opera empleando un tratamiento de tipo fisicoquímico utilizando sulfato de aluminio y polímero (poliacrilamidas) en el proceso de coagulación-floculación, generando lodos a una razón de 175 L/día. Anteriormente se realizaba una estabilización de los lodos mediante la adición de cal Ca(OH)_2 y se secaban mediante un filtro prensa. Esta metodología se dejó de aplicar, ya que el pH del lodo estabilizado era superior a 13 (debido a que se utilizaba 1.2 kg Ca(OH)_2 /kg lodos) siendo corrosivo, lo cual requería de un proceso adicional para neutralizar el pH, y esto implicaba un costo y tiempo de operación adicional. En la actualidad, estos lodos son descargados en el drenaje, sin ningún tratamiento. Por lo anterior en un estudio previo los lodos se sometieron a un proceso digestión anaerobia para su estabilización [1], los biosólidos obtenidos se emplearon en este trabajo para evaluar su fitotoxicidad en semillas y plántulas de girasol y cempaxúchitl.

2. Metodología

Este proyecto se realizó en el invernadero del Laboratorio del Área de Tecnologías Sustentables de la UAM-A. Se trabajó con los biosólidos provenientes de siete tratamientos de digestión anaerobia, en los que se emplearon tres testigos: lodos (L), residuos de jardinería (RJ), estiércol de vaca (I) y mezclas en las

siguientes proporciones: L50:RJ50, L80:I20, L40-RJ40-I20 y RJ80-I20, con el objetivo de observar el efecto de las mezclas en la producción de metano. Cabe destacar que estas proporciones se establecieron de esta manera para una adecuada operación del proceso de la digestión (C/N (21-36), ST, pH). Estos biosólidos se catalogaron con una calidad C (usos forestales, mejoramientos de suelos y usos agrícolas) de acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002.

La fitotoxicidad se evaluó en dos etapas fisiológicas importantes: la germinación de semillas y el crecimiento de plantas, empleando como modelo experimental el girasol y el cempaxúchitl. La primera prueba consistió en la exposición de las semillas a los extractos acuosos de los biosólidos y la otra, en colocar los biosólidos directamente sobre suelo, para cuantificar el crecimiento de las plantas durante 21 días, la Figura 1 muestra el diagrama general de la metodología.

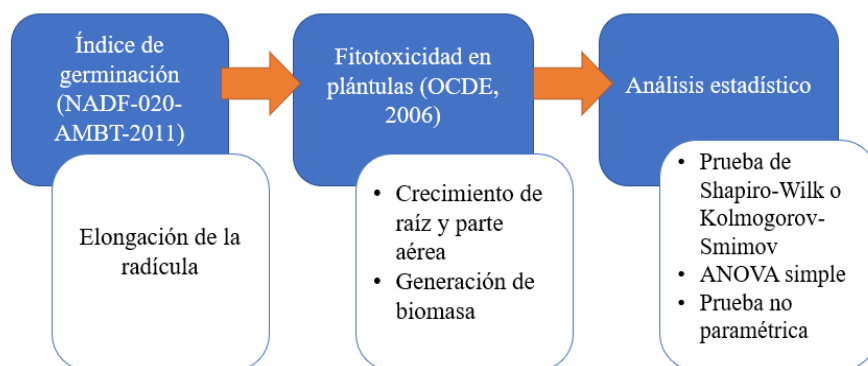


Figura 1. Metodología general

Los lotes de semillas empleados fueron de la empresa Rancho Los Molinos de la línea Hortaflor. Las pruebas consistieron en evaluar el efecto de los biosólidos en dos etapas cruciales para el desarrollo de las plantas, el efecto fitotóxico sobre la germinación se determinó a través del índice de germinación de las semillas, mientras que el crecimiento de las plántulas fue cuantificado mediante los parámetros de elongación radicular y la producción de biomasa y visualizando daños en las plántulas tales como: disminución en el crecimiento, necrosis, clorosis y/o marchitamiento.

2.1. Índice de germinación

La prueba evalúa el porcentaje de germinación de semillas en contacto con el extracto de los biosólidos de acuerdo con la NADF-020-AMBT-2011, para determinar si existe algún efecto negativo en la germinación. Esta prueba (Figura 2) se realizó por triplicado en cajas Petri.

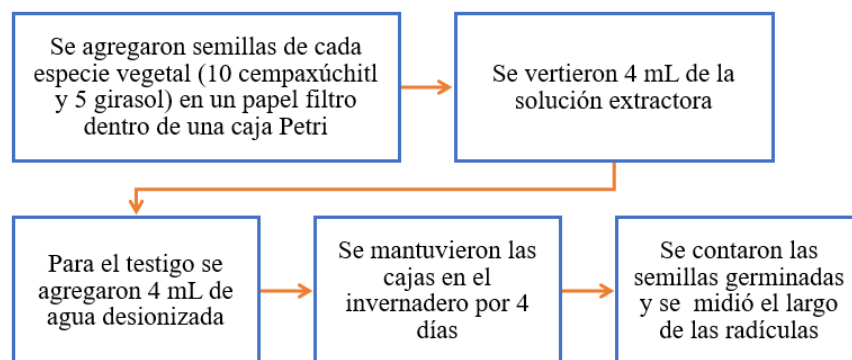


Figura 2. Metodología para la prueba de índice de germinación en semillas

Las ecuaciones para la determinación del índice de germinación fueron:

- Porcentaje de Germinación Relativa

$$PGR = \frac{\text{No. de semillas germinadas en el extracto}}{\text{No. de semillas germinadas en el testigo}} * 100 \dots\dots (1)$$

- Crecimiento de Radícula Relativo

$$CRR = \frac{\text{elongación de radículas en el extracto}}{\text{elongación de radículas en el testigo}} * 100 \dots\dots(2)$$

- Índice de germinación

$$IG = \frac{PGR+CRR}{100} \dots\dots(3)$$

2.2. Fitotoxicidad en plántulas con base en la OCDE

Esta prueba se efectuó por triplicado en rizotrones de vidrio, forrados con bolsas negras, inclinados en un ángulo de 45°. Los biosólidos se colocaron sobre un suelo con bajo contenido de nutrientes, formando una capa de 5 cm de espesor, las semillas se sumergieron a una profundidad de 1.5 cm, cabe mencionar que se empleó únicamente suelo como testigo. La Figura 3 muestra la metodología empleada. Durante la experimentación se monitoreó la temperatura y humedad del invernadero.

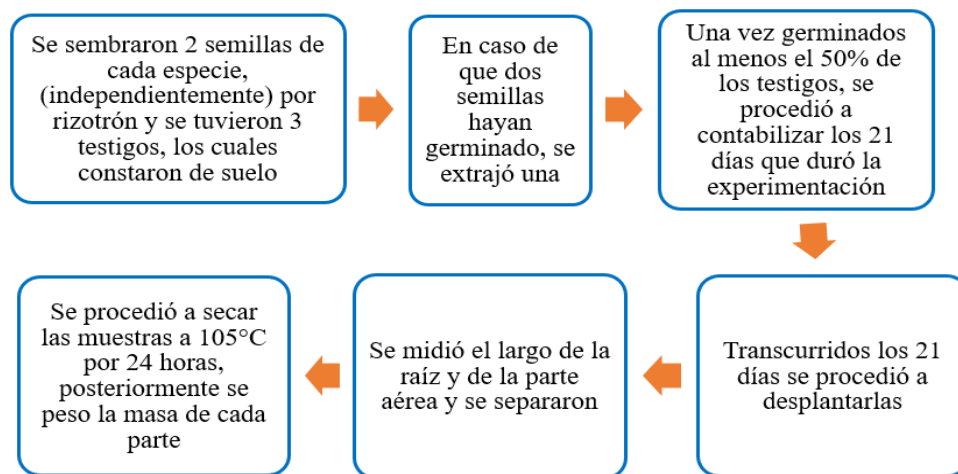


Figura 3. Metodología de toxicidad en plántulas

2.3. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis estadístico, mediante el software Statgraphics Centurion XV. Se empleó una prueba de Shapiro-Wilk o Kolmogorov-Smimov para evaluar datos normales. Cuando los datos presentaban normalidad se realizó un ANOVA y cuando el valor *p* del ANOVA fue significativo, se procedió a realizar una prueba múltiple de rangos con el método de diferencias mínimas significativas.

En el caso de que los datos no presentaran normalidad, se utilizó una prueba no paramétrica Kruskal-Wallis y si el valor *p* resultó significativo, se realizó un diagrama de caja de bigotes. Todas las pruebas se realizaron con un 95% de confianza.

3. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados del índice de germinación y de las pruebas de fitotoxicidad de los biosólidos.

3.1 Índice de germinación

La Tabla 1, presenta los resultados de esta prueba, de acuerdo con el criterio establecido por Emino y Warman, 2004 [2] para la interpretación de este índice se tiene: si el índice de germinación es menor al 50% indica alta toxicidad, entre 50-80%, la toxicidad es moderada y si es mayor al 80%, incluyendo valores superiores al 100%, no hay fitotoxicidad. Se tuvo una alta fitotoxicidad para L80-I20 (46.7 ± 11.1) en el girasol, mientras que, en cempaxúchitl fue en I-100 (9.7 ± 8.7) y L100 (11.3 ± 3.1), en estos casos la fitotoxicidad se puede deber a la presencia de amonio, presente en los lodos y el estiércol [3]. El amonio en condiciones de humedad y calor se transforma en amoniaco, lo cual propicia un ambiente tóxico para el crecimiento de especies vegetales [4]. Los porcentajes de germinación mayores al 80% en los que no se presentó toxicidad, fueron los biosólidos L50-RJ50 (98.6 ± 5.5) y RJ80-I20 (89 ± 17.8) para el girasol y RJ100 (109.7 ± 1.8), L50-RJ50 (112.6 ± 4), L80-I20 (98.4 ± 11.1) y L40-RJ40-I20 (83.4 ± 14) para el cempaxúchitl.

Tabla 1. Índice de germinación en los biosólidos

Especies	IG [%]						
	L100	I100	RJ100	L50-RJ50	L80-I20	L40-RJ40-I20	RJ80-I20
Girasol	52.1 ± 10.3	50.9 ± 2.9	69.5 ± 3.6	98.6 ± 5.5	46.7 ± 11.1	74.4 ± 8.3	89 ± 17.8
Cempaxúchitl	11.3 ± 3.1	9.7 ± 8.7	109.7 ± 1.8	112.6 ± 4	98.4 ± 11.1	83.4 ± 14	67.4 ± 29.9

3.2. Crecimiento y generación de biomasa de la raíz y parte aérea

En este apartado se muestran los comportamientos de crecimiento y la biomasa seca de las plántulas (girasol y cempaxúchitl).

a) Crecimiento y biomasa del girasol empleando los biosólidos en suelo

La Figura 4, muestra el crecimiento de la raíz y parte aérea para el girasol con la adición de los biosólidos, se puede apreciar que los biosólidos no perjudicaron el crecimiento de esta especie en comparación con el testigo (suelo) de una manera significativa. Los valores del crecimiento de la raíz oscilaron entre 12.6-26.4 cm, mientras que la parte aérea entre 30-37 cm.

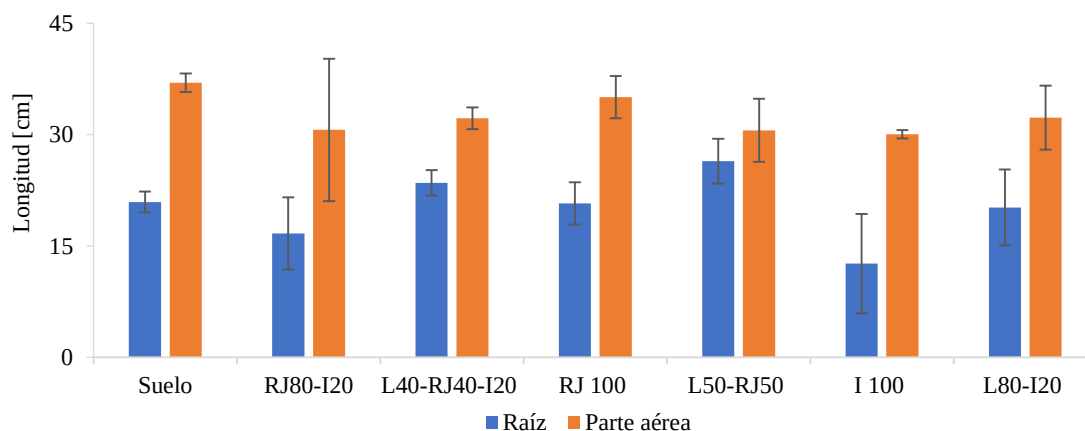


Figura 4. Crecimiento de raíz y parte aérea del girasol en suelo-biosólidos

En el caso del tratamiento L100, las semillas no presentaron germinación, esto pudo deberse a la consistencia arcillosa del sustrato (lodos), la cual dificultó una correcta retención de humedad, por lo que

dicho biosólido presenta toxicidad sobre esta especie vegetal, dato que se contradice en el índice de germinación que se encuentra en 52.1 ± 10.3 , por lo que se puede inferir que son necesarias otras pruebas complementarias para evaluar la posible aplicación de biosólidos en uso agrícola.

Los datos del crecimiento de raíz del girasol sobre suelo y biosólidos se analizaron como datos no paramétricos, ya que no presentan normalidad. El análisis Kruskal-Wallis dio un valor-P de 0.00057 , que indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un 95% de confianza, debido a la integración de dos grupos, el primero formado por L100 y el otro por todos los demás. La Figura 5 muestra la caja de bigotes, donde las pruebas con los biosólidos I100 tuvieron el menor crecimiento de raíz, mientras que L50-RJ50 y L40-RJ40-I20 favorecieron el crecimiento de la raíz.

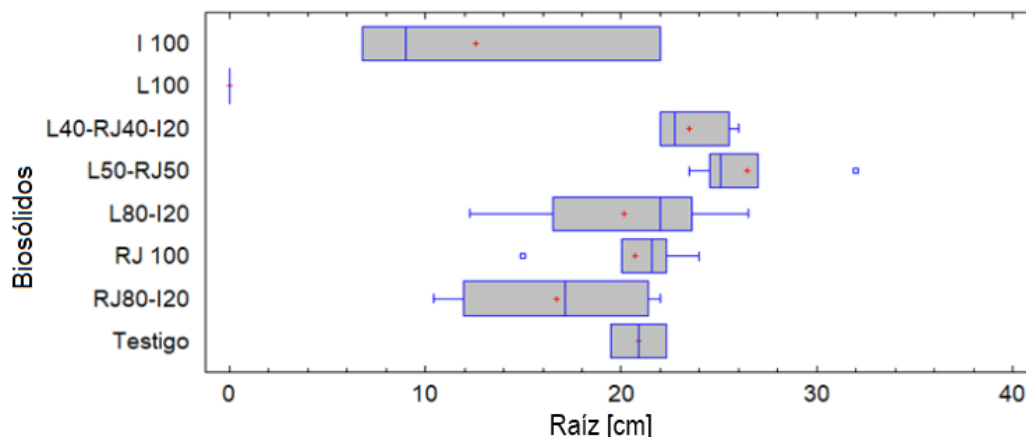


Figura 5. Caja y bigotes del crecimiento de raíz para girasol en suelo- biosólidos

La prueba Kruskal-Wallis de la parte aérea, dio un valor-P de 0.0035 , por lo que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas. La Figura 6, muestra que en general los tratamientos no presentan diferencias significativas.

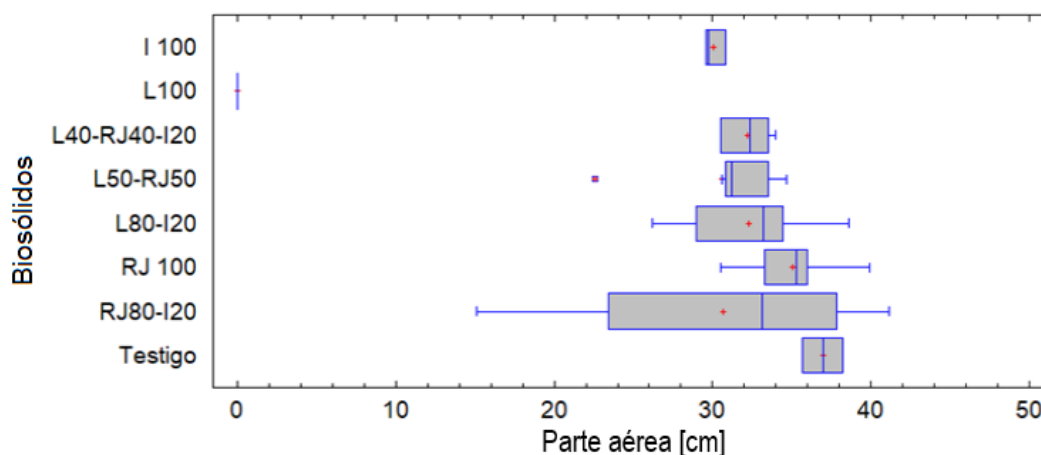


Figura 6. Caja y bigotes del crecimiento de la parte aérea para girasol en suelo- biosólidos

La Figura 7, muestra que el testigo (suelo) produjo la mayor biomasa en la parte aérea. La producción de biomasa en la raíz se vio favorecida en los biosólidos L50-RJ50 y RJ100.

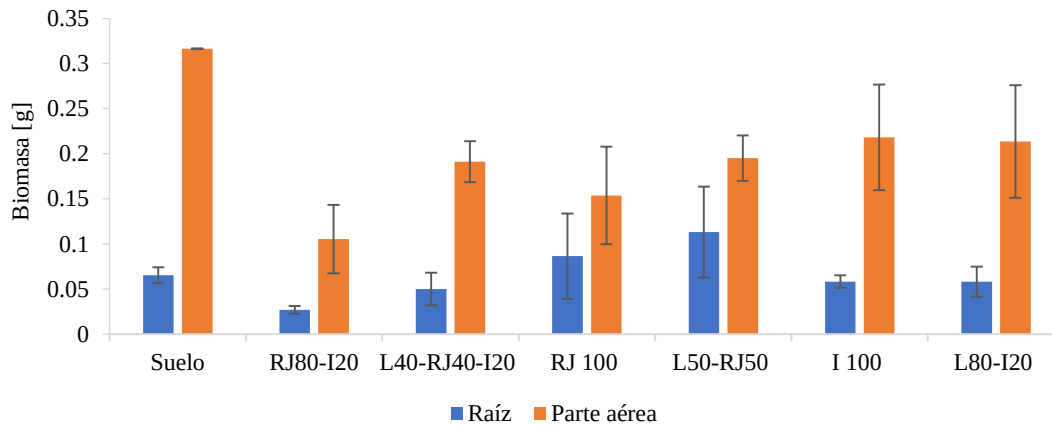


Figura 7. Generación de biomasa seca del girasol en suelo- biosólidos

Los datos de biomasa para la raíz del girasol en contacto con los biosólidos presentaron un comportamiento normal (*valor-P* 0.7609), por lo que se realizó un ANOVA simple. En la prueba de múltiples rangos (Tabla 2), se tienen 4 grupos homogéneos según la alineación de la letra X. Por lo tanto, no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de las letras X. Siendo los casos L100 y RJ80-I20 los que tuvieron menor generación de biomasa.

Tabla 2. Prueba de múltiples rangos de la biomasa seca para la raíz del girasol en suelo- biosólidos

Biosólidos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
L 100	6	0.0	X
RJ80-I20	4	0.0271	XX
L40-RJ40-I20	6	0.0500	XX
L80-I20	5	0.0582	XX
I 100	3	0.05833	XX
Suelo	2	0.06535	XXX
RJ 100	6	0.08648	XX
L50-RJ50	5	0.11312	X

La biomasa de la parte aérea presentó un comportamiento no normal, teniendo un *valor-P* de 0.00092 en la prueba Kruskal-Wallis, que indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas. En la Figura 8, se observa que la adición de los biosólidos ocasionó una disminución en la biomasa de la parte aérea en comparación con el testigo, esta figura muestra tres grupos homogéneos que destacan en L100 y el testigo, todos los demás se encuentran en un solo grupo.

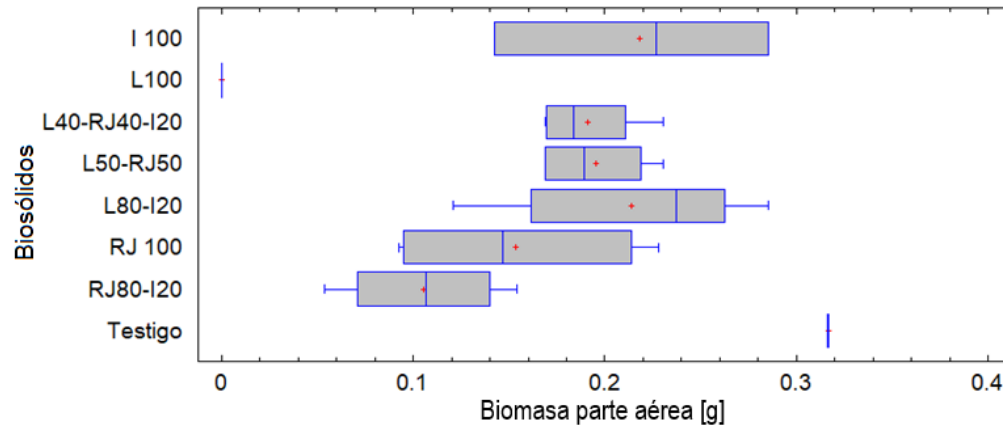


Figura 8. Caja y bigotes de la biomasa seca para la parte aérea del girasol en suelo- biosólidos

b) Crecimiento y biomasa de cempaxúchitl empleando los biosólidos

La Figura 9, muestra que la aplicación de los biosólidos ocasionó una disminución en el crecimiento de la raíz en comparación con el testigo, sin embargo, esta especie vegetal si germinó y se desarrolló en el lodo. Esto puede deberse a que el cempaxúchitl puede crecer en hábitats modificados por la acción del ser humano, lo cual le permite tener una mejor adaptación [6].

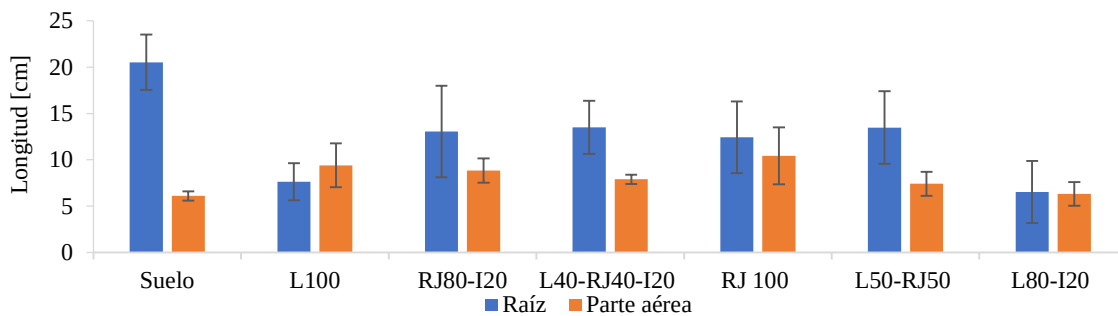


Figura 9. Crecimiento de raíz y parte aérea de cempaxúchitl en suelo- biosólidos

Los valores para el crecimiento de la raíz resultaron ser normales. No existe una diferencia estadísticamente significativa entre aquellos niveles que comparten una misma columna de las letras X. Por lo tanto, para I100 y el testigo existen diferencias significativas (Tabla 3), ya que I100 no generó crecimiento en cempaxúchitl, caso contrario del testigo, en el cual se tuvo la mayor elongación, seguido de los biosólidos RJ80-I20, L50-RJ50 y L40-RJ40-I20.

Tabla 3. Prueba de múltiples rangos de la raíz para cempaxúchitl en suelo- biosólidos

Biosólidos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
I 100	6	0.0	X
L80-I20	3	6.53333	X
L100	4	7.625	XX
RJ 100	3	12.4333	XXX
RJ80-I20	5	13.06	X
L50-RJ50	5	13.48	X
L40-RJ40-I20	3	13.5	XX
Suelo	3	20.5333	X

El crecimiento de la parte aérea para cempaxúchitl presentó un comportamiento no normal. En la Figura 10, se observa que I100 no generó un crecimiento de la parte aérea. Mientras que, el resto de los biosólidos generaron un mayor crecimiento en comparación con el testigo, siendo el mejor RJ100.

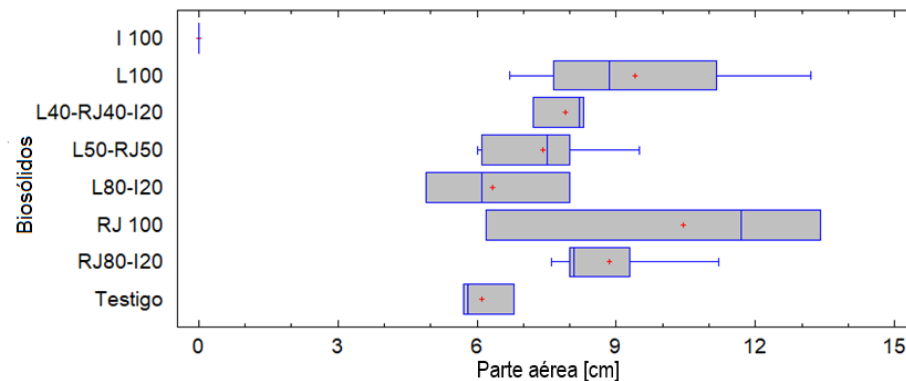


Figura 10. Caja y bigotes del crecimiento de la parte aérea para cempaxúchitl en suelo- biosólidos

En la Figura 11, se observa que los biosólidos tuvieron un efecto negativo en la biomasa, siendo los de mayor afectación RJ80-I20 y L40-RJ40-I20, debido a que estos están compuestos en su mayoría de residuos de jardinería, lo cual dificultó la retención de humedad.

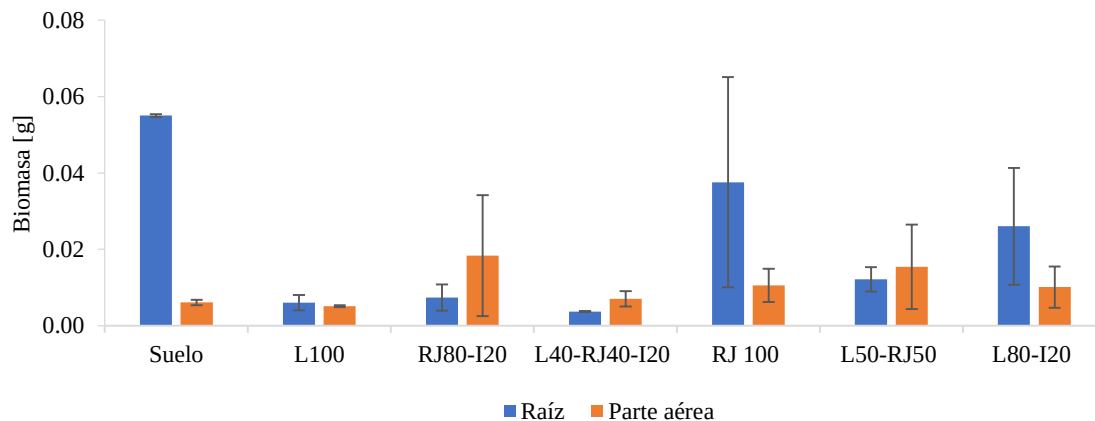


Figura 11. Generación de biomasa seca de cempaxúchitl en suelo- biosólidos

Los datos de la biomasa de raíz en los rizotrones donde se aplicaron los biosólidos para cempaxúchitl resultaron no normales. En la prueba Kruskal-Wallis, se obtuvo un valor-P de 0.0013, por lo que, hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un 95% de confianza. La Figura 12, muestra que RJ100 y L80-I20 fueron los que presentaron mayor biomasa en la raíz, en comparación con los demás tratamientos.

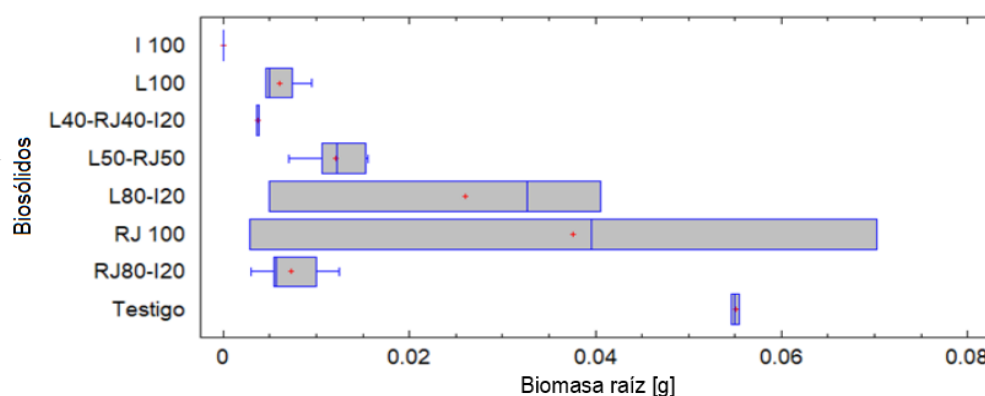


Figura 12. Caja y bigotes de la biomasa seca para la raíz de cempaxúchitl en suelo- biosólidos

Los datos de la biomasa en la parte aérea tampoco tuvieron un comportamiento normal. El valor-P fue de 0.0025 en la prueba Kruskal-Wallis, por lo tanto, hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un 95% de confianza. Se puede observar en la Figura 13 que los rizotrones donde se aplicó el biosólido I100 no tuvo generación de biomasa, por otra parte, los biosólidos RJ80-I20 y RJ100 favorecieron la producción de biomasa.

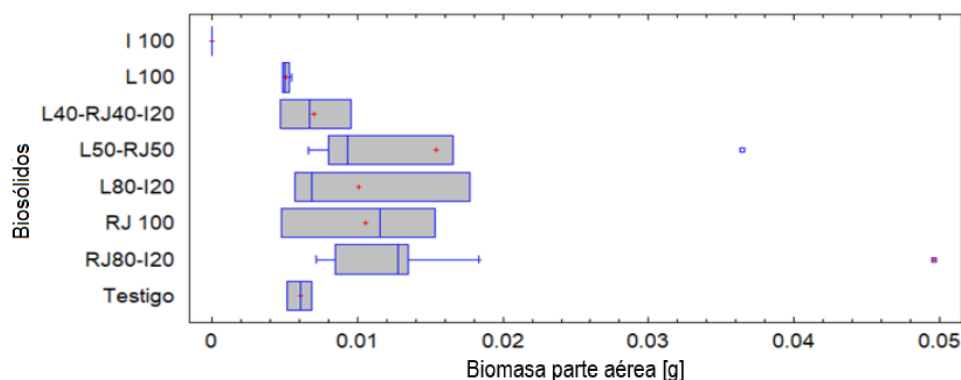


Figura 13. Caja y bigotes de la biomasa seca para la parte aérea de cempaxúchitl en suelo- biosólidos

En general, se observó que los biosólidos no lograron retener adecuadamente la humedad por lo que fue necesario regar con mayor frecuencia. Cuando el déficit hídrico se desarrolla paulatinamente, ocurren cambios sobre el crecimiento, entre los cuales están la limitación de la expansión foliar y el crecimiento radicular [7].

4. Conclusiones

Este proyecto demuestra que los biosólidos obtenidos en la estabilización de lodos fisicoquímicos mediante un tratamiento de digestión anaerobia podrían emplearse en especies vegetales para mejorar su crecimiento. Cabe destacar que cada especie vegetal presenta características propias, por lo que el crecimiento que se generó fue diferente en cada una.

En el cempaxúchitl se tuvieron mayores porcentajes en el índice de germinación, mientras que el girasol obtuvo el mayor crecimiento en la raíz y parte aérea.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten inferir que la aplicación de este tipo de biosólidos permite mejorar la germinación y crecimiento de estas especies vegetales.

5. Referencias

- [1] Mendoza-Sánchez, M. (2020). Tesis de maestría “*Estudio comparativo de dos procesos biológicos para el aprovechamiento de los lodos generados en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A*”. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- [2] Emino, E. R., & Warman, P. R. (2004). Biological assay for compost quality. *Compost Science and Utilization*, 12(4), 342–348.
- [3] Figueroa-Viramontes, U., Núñez-Hernández, G., Delgado, J., Cueto-Wong, J., & Flores-Margez, J. (2009). Estimación de la producción de estiércol y de la excreción de nitrógeno, fósforo y potasio por bovino lechero en la Comarca Lagunera. In I. Orona, E. Salazar, M. Fortis, H. Trejo, C. Vázquez, J. López, ... J. Chavarría (Eds.), *Agricultura Orgánica* (Segunda Ed, pp. 128–154). México.
- [4] Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Chile.
- [5] Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants*. (C. Press, Ed.), *Trace Elements in Soils and Plants, Third Edition* (tercera ed).
- [6] Mondragón-Pichardo, J., & Vibrans, H. (2009, August). *Tagetes erecta* L. Consultado el 5 de Enero de 2020 en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/tagetes-erecta/fichas/ficha.htm>
- [7] Moreno, L. P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179–191.

Modelo de impresión 3D para piezas de reemplazo como una medida sustentable

¹ Alan U. Rangel Uribe, ¹ Ismael Mendoza Muñoz, ¹ Samantha E. Cruz Sotelo, ¹ Gabriela Jacobo Galicia, ¹Olivia Y. Vargas Bernal, ¹Mildrend I. Montoya Reyes.

¹ Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ingeniería. Calle Normal s/n Blvd. Benito Juárez, 21100. Mexicali, B.C. alan.rangel85@gmail.com. Teléfono (686) 5664270 ext. 1316.

Resumen

La reducción en el tiempo de vida útil de un producto es un problema que se atribuye al mercado de consumo de productos fácilmente desechables, teniendo consecuencias económicas-sociales para el consumidor, como para el ambiente. Desde un punto de vista sustentable, la tecnología de impresión en 3D con un modelo de fabricación de piezas de reemplazo, puede dar solución a este problema, al aumentar la vida útil del producto, utilizando materiales de bajo costo (en su mayoría polímeros), además de emplear una infraestructura sencilla y económica, en contraposición con las tecnologías convencionales de fabricación. El siguiente documento describe el principio de este proceso de fabricación, como una alternativa sustentable, la cual puede ser aplicada en productos recurrentes en los sectores industriales, educacionales y domésticos.

Palabras Clave: *Impresión en 3D, piezas de reemplazo, productos de desecho.*

1. Introducción

La ideología que prevalece en el consumidor sobre “tirar a la basura” un producto en mal estado o incluso con daños mínimos, ha tenido un impacto fuertemente negativo en términos de contaminación, energía, suministro de agua, hábitats naturales y ecosistemas. Esta mentalidad se ha presentado en diversos productos que se caracterizan por ser económicos y fabricados con una obsolescencia planeada, lo que fomenta un desapego del consumidor hacia ellos [1].

Además de afectar a diversos sectores económicos y sociales, esta cultura se centra en el usuario del artículo en cuestión, a través de las influyentes campañas publicitarias, que le invitan a comprar sus nuevos productos para satisfacer una necesidad, la cual podrá ser cubierta solamente al obtener nuevos artículos. Como consecuencia de este comportamiento, se reduce dramáticamente el ciclo de vida de los productos actuales, llevándolos a su declive comercial de manera abrupta. Lo anterior, es uno de los factores que influyen en los diseños del fabricante, buscando abaratar los costos de fabricación del artículo y a su vez, reducir el tiempo de vida útil del mismo, forzando al consumidor a comprar otro producto (por lo general, un modelo más nuevo) como reemplazo del último, lo que deriva principalmente en dos afectaciones: 1) el consumidor entra en un ciclo de consumismo que lo obliga a adquirir nuevos artículos que satisfagan su necesidad y, 2) como parte del ciclo de compra-desecho, se tienen grandes cantidades de artículos desechados, siendo en su mayoría residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), cuya disposición incorrecta o no responsable afecta al ambiente. Se puede observar que, este problema debe abordarse desde la óptica sustentable, con una visión integral entre tecnología-producción-consumo [2].

Debido a la reducción del tiempo de vida útil de un producto, los artículos anteriores al modelo actual tienden a quedarse sin servicio ni atención por parte del fabricante y, por lo tanto, sin refacciones o piezas de reemplazo, las cuales pudieran prolongar el uso de este. La limitante en la cobertura de los modelos anteriores, provoca la obsolescencia de éste y presiona al consumidor para adquirir los modelos más recientes. Otro escenario que arroja consecuencias similares a las ya descritas, se da cuando se tiene un

alto costo de estas refacciones, reforzando la tendencia del consumismo para desechar.

Las refacciones o piezas de reemplazo son piezas que se venden por parte de los fabricantes o por parte de terceros, para suplir cualquier desperfecto o falla que pueda presentar un producto. Esta oferta de refacciones es percibida por los consumidores como parte del atractivo de adquirir un producto, al estar cubiertos ciertos desperfectos que el producto pudiera presentar, y que es una parte integral del mercado actual [3].

Como una alternativa, se presenta la tecnología de impresión 3D, la cual forma parte de los procesos de manufactura por adición, contando con un gran potencial en el diseño de productos con un enfoque sustentable. A continuación, se describen los principios de esta tecnología de fabricación, mostrando sus bondades como áreas de oportunidad, la cual puede ser aplicada en productos recurrentes en los sectores industriales, educacionales y domésticos.

2. Antecedentes

2.1 Procesos de manufactura tradicionales e impresión en 3D

La mayoría de los productos que conocemos en el mercado son fabricados mediante procesos convencionales de manufactura, algunos ejemplos de éstos son: procesos de remoción de material; procesos de formado de metal y trabajo de láminas metálicas; y procesos de conformado para plásticos. Éstos involucran una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual, para la transformación de la materia prima en una pieza o producto. Sin embargo, al observarse desde un enfoque sustentable, estos procesos requieren de una alta inversión inicial (justificada con una alta tasa de producción), presentan un considerable consumo energético y generan una cantidad importante de desperdicios [4].

Los procesos de manufactura por adición se caracterizan por la fabricación de un objeto a través de la superposición de capas sucesivas de un material, de acuerdo con un modelo en tres dimensiones generado por computadora [1],[4],[9],[11]. Otras particularidades son las siguientes: a) bajo consumo de energía por pieza fabricada [5] y costo por pieza [6], ambos justificados a través de altos volúmenes de producción [7] y, b) tienen contacto directo entre la herramienta que le da forma y el material o pieza trabajada [8]. Dentro de estos procesos de fabricación, se encuentran las tecnologías de impresión en 3D.

Por su parte, las tecnologías de impresión en 3D solían utilizarse exclusivamente para la fabricación de prototipos en sus inicios, pero con su avance en los últimos años y en los materiales que utiliza, su enfoque ha comenzado a cambiar hacia una fabricación de bajos volúmenes de producción [1],[9]. Algunas ventajas de estas tecnologías en comparación con las tecnologías convencionales de fabricación son:

- *Reducción del material de desecho.* A diferencia de los procesos de remoción de material, esta tecnología puede reutilizar directamente el material no utilizado en la fabricación de una pieza o en la fabricación de piezas subsecuentes, mientras que, en los procesos de remoción de material, el material no utilizado es desechado o llevado a un centro de reciclaje [1].
- *Complejidad de diseños.* Las tecnologías de impresión en 3D sufren menos restricciones en el diseño a la hora de fabricar una pieza, por lo que se pueden realizar diseños más elaborados y complejos debido a la forma en que el objeto es fabricado, gracias a la superposición de capas sucesivas de material [1].
- *Customización o personalización de producto.* Estas tecnologías permiten que cada componente fabricado sea completamente diferente a otros, sin afectar el costo de producción [1],[6].

- *Menor tiempo en elaboración de nuevos productos.* Las piezas de diseños nuevos son fabricadas inmediatamente sin la necesidad de esperar a conseguir nuevas herramientas para un cambio de diseño de producto, lo que permite que nuevos productos lleguen más rápido al mercado [1],[6],[9].
- *Reducción de costos.* En casos en donde no se necesite de un alto volumen de producción, se pueden elaborar diferentes diseños de productos con el mismo equipo y sin la necesidad de invertir en herramienta nueva para la modificación de un diseño, lo cual permite que una mayor cantidad de usuarios, así como micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyMES) puedan hacer uso de estas tecnologías [1],[9].

Con las ventajas antes expuestas, las tecnologías de manufactura por impresión en 3D pueden contribuir al incremento del tiempo de vida útil de un producto, permitiendo la fabricación de piezas de reemplazo de una forma relativamente barata y eficiente.

A pesar de que esta tecnología presenta fortalezas que sus contrapartes carecen notablemente, y que incluso, pudiera ser una alternativa sustentable ante las dinámicas actuales de consumismo, se encuentran limitantes que son importantes mencionar: a) baja velocidad del proceso por la superposición de capas sucesivas de material, b) problemas de precisión dimensional debido a los procesos de moldeo del material (generalmente polímeros), c) aparición de detalles superficiales debido al proceso de adición de capas y, d) repetibilidad [9]. Además, sería importante considerar que presenta otros inconvenientes como: disminución de puestos de trabajo, vulneración de los derechos de autor, y la creación de objetos ilícitos [12]. Estas desventajas han sido objeto de varios estudios entre la comunidad científica, dejando una brecha tecnológica por subsanar.

Con estas tecnologías puede ser relativamente fácil la fabricación de refacciones siempre y cuando se cuente con un diseño de la pieza generado en computadora, que puede ser aportado por el mismo fabricante o por un tercero que cuente con las herramientas para generar tal diseño [1]. Se logra finalmente romper esa tendencia de “tirar a la basura” al conseguir, mediante estas tecnologías, que se fortalezca el apego del usuario con su producto y se extienda el tiempo de uso de vida útil del mismo.

2.2 Ejemplos de ciclo de vida reducidos por consumismo

Quizás, el ejemplo más icónico para abordar el tema del ciclo de vida de un producto son los teléfonos inteligentes, en donde cada cierto tiempo, las grandes empresas lanzan un nuevo modelo al mercado y generan una gran expectativa ante todos los usuarios. El nuevo modelo lanzado al mercado suele tener algunas mejoras tecnológicas y estéticas que logran que un gran sector del mercado compre el teléfono inteligente, abaratando el mismo día de su lanzamiento todos los modelos anteriores, y por ende, volviendo obsoletos los modelos más antiguos. La justificación siempre son los avances tecnológicos, que dan pasos con gran velocidad y dejan a los modelos predecesores como obsoletos en un tiempo reducido. Incluso, se puede afirmar que existe la obsolescencia programada de estos productos. El consumidor promedio renueva su celular cada 15 meses, y la vida media de un teléfono móvil en la actualidad oscila entre los 18 y 24 meses [10].

Con respecto al mercado de piezas de refacciones, un ejemplo bien representado es la industria del automóvil, ya que éste se compone de un número considerable de piezas, entre las que se incluye; chasis, motor, interiores, eléctrico, electrónico, etc. En México, una dinámica común es visitar chatarrerías, negocios dedicados a la compra-venta de autos en desuso para la posterior venta de sus componentes.

A pesar de este mercado ya consolidado en los países de tercer mundo (debido a que el consumidor promedio no cuenta con los medios económicos para la adquisición de un vehículo nuevo), ha emergido un mercado con la necesidad de crear piezas para automóviles más antiguos y de modelos no comerciales, cuyas refacciones son más difíciles de encontrar en chatarrerías debido a que el fabricante ya las discontinuó. Compañías como Fine Line Restoration, ubicada en Colorado, Estados Unidos, comienzan a

apostar por la fabricación de componentes y refacciones como consolas centrales, caretas para faros, parrillas frontales, y todo tipo de componentes para la restauración y customización de automóviles antiguos cuyo valor para los consumidores justifica la fabricación de estas piezas, las cuales se pueden hacer a través de la fabricación por adición o impresión en 3D. La Figura 1, muestra el diseño y fabricación de una careta de faros y parrilla frontal de un ensamble de un automóvil antiguo con la tecnología de impresión en 3D [1].

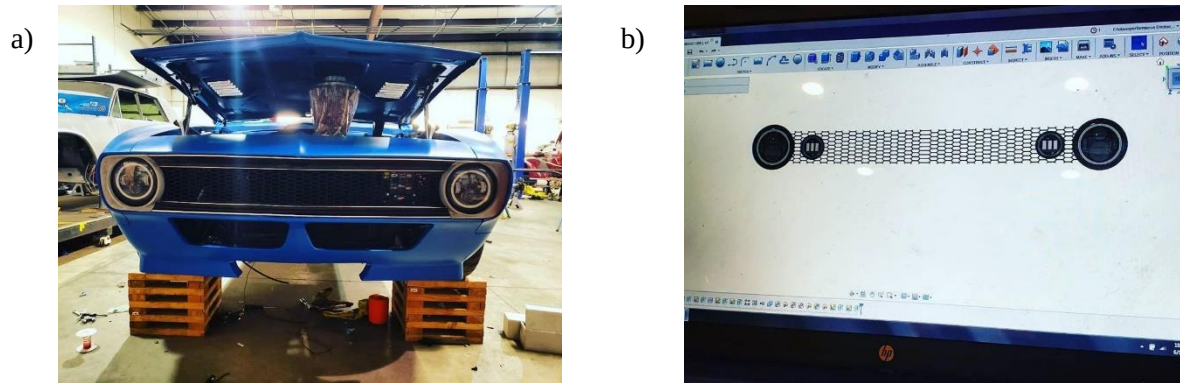


Figura 1. a) Diseño en computadora de careta de faros y parrilla frontal y, b) instalación de los componentes fabricados por una impresora 3D en automóvil antiguo [1].

2.3 Uso de impresión 3D en MiPyMES

Las tecnologías de impresión 3D son opciones cada más recurrentes para pequeñas empresas que buscan establecer sus productos rápidamente en el mercado. La flexibilidad y libertad de diseñar componentes para usos específicos, justifican su uso en este tipo de negocios.

Una micro empresa de la ciudad de Mexicali, dedicada al diseño, fabricación e instalación de equipo de monitoreo contra incendios para comercios e industrias que cuentan con grandes instalaciones eléctricas, lanzó un nuevo producto que mediante una señal por internet envía información a los usuarios en tiempo real a través de una aplicación en el celular, mostrando el estado actual de sus equipos e instalaciones. Este producto se constituye de varios componentes electrónicos montados dentro de una caja metálica. En el interior, se encuentra otra caja de plástico con un diseño adecuado que permite contener, ensamblar y proteger los principales componentes electrónicos.

Debido al uso de la caja plástica mencionada anteriormente, la empresa buscó inicialmente opciones con un proveedor especializado. Además del diseño, un obstáculo clave fue el bajo requerimiento de producción de este producto, ya que el requerimiento mínimo por parte del proveedor excedió por cientos. Al tratarse de un producto emergente, la empresa no podía realizar el pedido en cuestión debido a que no estaba garantizado el posicionamiento de este. Finalmente, la empresa optó por adquirir una impresora en 3D para la fabricación de la caja, dando respuesta al bajo volumen de producción requerido en ese momento, además de garantizar la libertad y rapidez de modificar el diseño [1] (si así lo requiere el producto), sin la necesidad de invertir en nuevas herramientas, además de que le permite fabricar muchos más diseños de otros componentes de ser necesario [9]. La Figura 2, muestra el producto terminado. Se destaca la libertad y rapidez de modificación del diseño, ya que se refleja que un nuevo producto puede llegar al mercado en un menor tiempo, pues al eliminar un proveedor externo, no se consideran los tiempos de envío.



Figura 2. Caja de plástica hecha por una impresora 3D para contener componentes electrónicos.

3. Resultados y discusión.

La sustentabilidad es un tema emergente que ha venido cobrando fuerza principalmente debido a la concientización y fomento de proyectos de investigación con un esquema Penta Hélice (empresa, gobierno, academia, sociedad y medio ambiente), los cuales colaboran de manera conjunta para atender los problemas urgentes del país, dando soluciones sustentables.

Al contribuir en las tres áreas de interés para la sustentabilidad (ambiental, social y económico), podemos afirmar que las tecnologías de impresión en 3D son una alternativa sustentable para mitigar la dinámica actual de consumismo de nuevos productos. Con respecto a la dimensión ambiental, se fomenta con la reducción de material desechado en contraste con los procesos de remoción de material [1], [6], y principalmente, al prolongar el tiempo de vida útil de productos, que se traduce potencialmente en una menor cantidad de productos desechados, al hacer viable la fabricación de refacciones y piezas requeridas por el usuario, logrando estrechar el apego de éste con el producto, al hacerlo mucho más atractivo. Desde las perspectivas económica y social, aporta al abrir nuevos nichos de mercado y poniéndolos al alcance de pequeños negocios [1].

324

4. Conclusiones

Este primer análisis de la literatura sugiere que el uso de la tecnología de impresión 3D, puede dar respuesta a los problemas citados anteriormente, incluso, abriendo camino tanto a la innovación y diseño de nuevos productos como al emprendimiento. Se considera pertinente abordar el tema con mayor profundidad, estableciendo una serie de indicadores para evaluar el nivel de sustentabilidad del uso de esta tecnología, particularmente, para la manufactura de piezas de reemplazo en productivos recurrentes en los sectores industriales, educacionales y domésticos, a fin de disminuir la generación de artículos desechados. Sin embargo, dada la reciente accesibilidad a esta tecnología para el sector doméstico, se considera importante abordar los productos cotidianos que son personalizables por el mismo consumidor, porque para este caso en particular, pudiera encontrarse que los procesos tradicionales de manufactura ofrecerían ser mayormente sustentables.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Baja California por su soporte través del proyecto de investigación 105/2463 “Validación de escáner 3D para la caracterización de piezas de reemplazo” para la realización de este trabajo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Diegel, O., Kristav, P., Motte, D., & Kianian, B. (2016). Additive Manufacturing and its Effect on Sustainable Design. Handbook of Sustainability in Additive Manufacturing Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes, 73–99.
- [2] "Las nuevas actitudes hacia el consumo y la producción: las mejores prácticas en el ámbito del consumo colaborativo y la obsolescencia planificada", Comité Económico y Social Europeo, 2020. <https://www.eesc.europa.eu/sites/default/files/resources/docs/estudio-vf.pdf>.
- [3] Duffuaa S., Raouf S. & Campbell J. (2009) *Sistemas de mantenimiento: planeación y control*. Primera edición. Limusa Wiley. México.
- [4] M. Groover, C. Cordero Pedraza, J. Enríquez Brito & J. Murrieta. (2007). Fundamentos de manufactura moderna. Tercera edición. McGraw -Hill. México.
- [5] Telenko, C., Seepersad, C. C., & Webber, M. E. (2008). A Compilation of Design for Environment Principles and Guidelines. Volume 5: 13th Design for Manufacturability and the Lifecycle Conference; 5th Symposium on International Design and Design Education; 10th International Conference on Advanced Vehicle and Tire Technologies.
- [6] Kianian, B., & Larsson, T. C. (2015). Additive Manufacturing Technology Potential: A Cleaner Manufacturing Alternative. Volume 4: 20th Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference; 9th International Conference on Micro- and Nanosystems.
- [7] Hopkinson, N., & Dickens, P. (2003). Analysis of rapid manufacturing-using layer manufacturing processes for production. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 217(1), 31–39
- [8] Hameed, A. S. (2017). What is the difference between conventional and non-conventional Machining processes or how the non-conventional machining process differs? Retrieved from https://www.researchgate.net/post/What_is_the_difference_between_conventional_and_non_conventional_Machining_processes_or_how_the_non_conventional_machining_process_differs
- [9] Ruffo, M., Tuck, C., & Hague, R. (2006). Cost estimation for rapid manufacturing - laser sintering production for low to medium volumes. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 220(9), 1417–1427.
- [10] Blasco, L. (2018). ¿Cuánto tiempo podría durar un celular si no existiera la obsolescencia programada? Retrieved from <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46261763#>
- [11] Luo, Y., Ji, Z., Leu, M., & Caudill, R. (n.d.). Environmental performance analysis of solid freedom fabrication processes. Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment (Cat. No.99CH36357).
- [12] Gómez Reyes, L. (2017) Análisis documental de los inconvenientes de la impresión 3D. *3C Tecnología. Glosas De Innovación Aplicadas a La Pyme*. 6 (3). 53. Recuperado a partir de <http://ojs.3ciencias.com/index.php/3c-tecnologia/article/view/48>

Sistema de Información Geográfica para la localización de Sitios de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos en Veracruz

¹Abigail Zamora Hernández, ²Génesis Mora Cruz, ³Gloria Inés González López

¹Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana. Calle Juan Pablo II S/N, Campus Mocambo, Fracc. Costa Verde, C.P. 94294, Boca del Río, Ver. – México. Email: abzamora@uv.mx

²Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Región Veracruz. ³Facultad de Ciencias Químicas, Región Orizaba, Universidad Veracruzana

Resumen

En 2018 en el basurero de Las Matas en Minatitlán, Veracruz, arranca el programa “*Hacia basura cero*”, que tiene como objetivo mejorar la gestión de residuos sólidos en el país para lograr que las ciudades tengan cero basura en 2030. Sin embargo, Veracruz no ha actualizado su plan de manejo de residuos desde 2012. Para contribuir a este fin, en este trabajo se desarrolló una herramienta de software que integra en un Sistema de Información Geográfico (SIG), los sitios de disposición final que existen en la entidad, con datos registrados por personal de la Procuraduría de Medio Ambiente de Veracruz. Esta herramienta permite visualizar en un mapa las posiciones exactas de esos sitios, sus características de operación y equipamiento, así como el área a un km a la redonda que puede ser afectada. Con esto se puede saber si existe población asentada en las inmediaciones que depositan ahí sus residuos, así como las posibles afectaciones que pueden surgir de esta actividad; conociendo lo anteriormente mencionado, se podrá contar con información para establecer estrategias en el nuevo plan de manejo de residuos del Estado.

Palabras Clave: *Geolocalización, impacto ambiental, mapa interactivo.*

326

1. Introducción.

La palabra residuo (con origen en el latín *residuum*), describe al material que pierde utilidad tras haber cumplido con su misión o servido para realizar un determinado trabajo, y el concepto se emplea como sinónimo de basura, es decir, por hacer referencia a los desechos que el hombre ha producido [1].

En México los residuos sólidos se clasifican en tres tipos Residuos Sólidos Urbanos (RSU), de Manejo Especial y Peligrosos. Hablando de los primeros, es evidente que representan un grave problema a nivel mundial, debido a que la mayoría no pueden ser asimilados en su totalidad por la naturaleza y tienen que ser colocados en algún sitio para su manejo y control adecuados, minimizando los daños al ambiente. Desafortunadamente, no todos los países en el mundo cuentan con un buen sistema de gestión de RSU [2].

En el país, la mayoría de los sitios de disposición final de RSU no operan adecuadamente [3]. Además, la recolección y disposición son actividades que no siempre se llevan a cabo de manera correcta [4], lo que provoca que la gente se deshaga de sus residuos de forma inadecuada: quemándolos o arrojándolos en lugares no autorizados. Esto conlleva una serie de efectos colaterales perjudiciales como contaminación del suelo, tierra y agua, proliferación de fauna nociva y enfermedades, entre otras.

Las autoridades municipales son las responsables de ofrecer el servicio del manejo de RSU a la población. Sin embargo, esta tarea se complica cuando se trata de la disposición final, ya que muchos sitios no se construyen como rellenos sanitarios. Estos lugares incluyen obras de ingeniería para controlar los impactos ambientales. En muchos municipios existe más de un sitio de disposición con potencial contaminante, por lo que las autoridades deben realizar, además de las tareas relativas al manejo de RSU, la corrección de los problemas de basura en sitios ilegales.

1.1 RSU en México y Veracruz.

Según un informe del Banco Mundial, los desechos generados en el planeta en 2016 alcanzaron los 2,010 millones de toneladas; esta cifra se disparará hasta los 3,400 millones de toneladas en el año 2050 [5]. La tasa media de generación de basura per cápita en América Latina (en los países cuyo idioma oficial es español o portugués), es de 0.87 kg al día, lo que supera el promedio mundial fijado en 0.74 kg.

En la generación de residuos influye la densidad de población, la existencia de actividades comerciales y el turismo, pero el factor más importante para comprender qué países son los que más y menos basura generan en América Latina (AL), es otro: el nivel de ingresos de sus habitantes. Es la desigualdad económica la que explica que países como México, Chile o Argentina sean los que más desechos generan, frente a la tasa de otros como Guatemala o Bolivia (figura 1) [5].

México es el país que más basura genera en Latinoamérica (figura 1), se producen diariamente 10 289 500 toneladas, de las cuales se recolectan 83.93%, se acumulan en sitios de disposición final 78.54%, y únicamente se reciclan el 9.63% [6].



Figura 1. Países que más y menos generan basura en AL (Modificada de [6])

Más de la mitad de la basura que se genera en todo el país se recolecta en siete entidades (figura 2) [7].

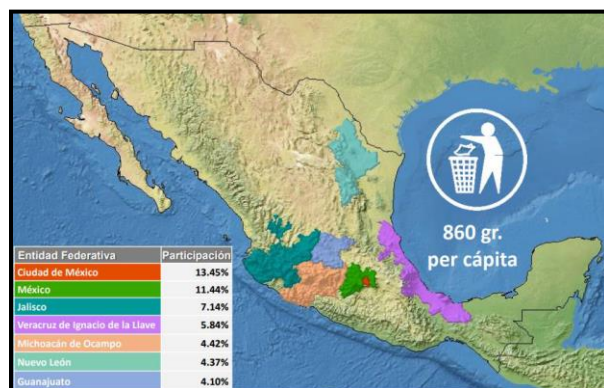


Figura 2. Estados de la República Mexicana donde más basura se recolecta [7]

El estado de Veracruz posee aproximadamente 8, 112,505 habitantes, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [8]. Genera aproximadamente 6, 102,414 kilogramos por día de RSU [9]. Posee 745 km de costa y lo bañan el 35% de los ríos mexicanos, destacando el Pánuco, Papaloapan, Actopan, Coatzacoalcos, Tecolutla y Nautla; aunado al hecho de que 18 acuíferos pasan por el territorio de Veracruz, lo que demuestra su gran riqueza hidrológica [10].

En materia de Gestión de RSU no se ha implementado ninguna actividad desde 2012, por lo que es imprescindible recopilar información actual para su análisis, a fin de integrarse al programa federal “*Hacia Basura Cero*”, cuyo objetivo principal es aminorar los impactos ambientales y de salud por el mal manejo de residuos, para el aprovechamiento racional de los recursos naturales y así favorecer el desarrollo sustentable del país [11].

Por lo anterior, se propuso una herramienta de software que permitiera interactuar con los datos relativos a todos los lugares donde se sabe que existe disposición final de RSU en el Estado de Veracruz, para incorporarlos a un Sistema de Información Geográfico, que permitiera interactuar con el mapa para conocer datos importantes de cada uno de esos sitios como son: tipo de lugar de disposición, cuáles son los que tienen mayor o menor disposición de RSU, equipamiento de que dispone cada uno de esos lugares, que municipios depositan ahí sus desechos, dimensiones que posee en hectáreas, cuantas toneladas recibe por día, los años de vida útil de que dispone, entre otros.

2. Metodología.

2.1 Revisión de herramientas de software relacionadas con los RSU.

Con la finalidad de conocer las aplicaciones de software disponibles cuya orientación sea similar a la que se plantea, la primera actividad consistió en hacer una revisión exhaustiva, encontrando que al menos en México no hay software del tipo que se pretendía desarrollar, y aunque existen en otros países algunas aplicaciones relacionadas, corresponden a software propietario. Lo anterior significa que los usuarios tienen limitadas las posibilidades de usarlo, modificarlo o redistribuirlo (con o sin modificaciones, o cuyo código fuente no está disponible o el acceso a éste se encuentra restringido) [12], por lo que no es posible que puedan integrarse datos correspondientes a México. Algunas de las aplicaciones relacionadas son:

- a) Mapa Dinámico de “Sitios de disposición final” del Estado de Veracruz [13]. Fue diseñado para mostrar el tipo de aptitud del territorio para poder ubicar en algún punto, un SDF. El mapa muestra con círculos rojos aquellos lugares donde no es posible o se tiene disponibilidad nula para instalar un SDF. Actualmente se encuentra en proceso de actualización [14].
- b) D-Waste: Proporciona servicios de gestión de residuos a través de una red global de expertos. Su objetivo es proporcionar consultoría de gestión de residuos [15]. Uno de los servicios que se ofrece es el *Waste Atlas*, mapa de acceso gratuito de colaboración abierta distribuida (en inglés: *crowdsourcing*), que visualiza datos de gestión de residuos sólidos municipales en todo el mundo, con fines de evaluación comparativa.
- c) Retorna.org: Es una iniciativa que pretende fomentar la prevención de la generación de residuos y la contaminación, así como aportar soluciones para evitar el abandono de residuos (especialmente envases), así como el consumo de productos de usar y tirar [16]. La aplicación está disponible tanto en la Apple Store (iPhone), como en Google Play (Android) y su uso es muy sencillo. El Smartphone geolocalizará la ubicación del usuario, seguido de esto, el interesado debe redactar una breve descripción del sitio y tomar una foto del lugar.
- d) El Proyecto de Evaluación del Mapa de Ecosistemas de Pastizales y Matorrales (Sagebrush And Grassland Ecosystem Map Assessment Project: SAGEMAP), es un Sistema de Información geográfico (SIG), creado para proporcionar acceso a la información espacial necesaria para abordar la gestión de los hábitats en el oeste de los Estados Unidos. Realiza la ubicación de rellenos sanitarios y estaciones de transferencia de residuos en 11 estados del oeste. Obtiene los datos de agencias estatales y federales en formato GIS, tabular y de mapa. Este sistema es de libre acceso, pero tiene la restricción de que no está diseñado para usarse a escalas mayores de 1:250 000. El propósito principal de este sitio web es el de suministrar ubicaciones de vertederos y estaciones de transferencia en el oeste de los Estados Unidos [17].

e) El Operador comercial de rellenos sanitarios de Colorado (Colorado Operating Commercial Landfills), es una aplicación web gratuita creada con ArcGIS®, que muestra los vertederos municipales abiertos de acceso público que abarca el estado de Colorado, E.U. Este organismo es gestionado por el Departamento de Salud Pública y Ambiente de Colorado desde 2007. Dentro de la información general que esta aplicación brinda se encuentran: coordenadas y nombre de los vertederos, así como el mapa interactivo con puntos correspondientes a cada lugar [18].

2.2 Análisis y depuración de datos.

La segunda acción fue revisar y depurar los datos que incluía el inventario de SDF en el Estado de Veracruz, levantado por personal de la Procuraduría Estatal de Protección al Medio Ambiente (PMA), a través de diferentes visitas de campo. En total se registraron en una hoja de Excel detalles de 68 SDF.

Entre los datos que se anotaron se incluyen: nombre de la localidad, municipio al que pertenece, ubicación en coordenadas UTM (el territorio del estado se encuentra mayormente dentro de la región 14), la superficie que ocupa en hectáreas, la macro región del estado donde se localiza el SDF, cuantas toneladas recibe al día, el tipo de sitio, su estado de operación, vida útil estimada en años, infraestructura (caseta, mallas, basculas, cobertizo, oficinas, celda y franja A), maquinaria y equipo (excavadoras, bulldozer, barredora, cargador frontal, vibro compactador, camiones de volteo, entre otros), el cumplimiento de la normativa, tipo de residuos depositados, si existe pepena y comentarios adicionales que se consideraron pertinentes (figuras 3a y 3b).

TABLA DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL POR										
	Macro Región	Municipio	Ubicación	Coordenadas UTM		Área (ha)	Toneladas-día	Categoría	Estado de operación	Vida útil estimada
1	HUASTECA	Álamo Temapache	Ex-Hacienda "La Granadilla" del Éjido Álvaro Obregón	642691.88 m E	2315304.83 m N	10	25 a 30	Tiradero controlado	Regular	3 años
2	HUASTECA	Cerro Azul	Localidad de Micahuales	633495.61 m E	2340193.29 m N	4	20	Tiradero a cielo abierto	Mala	2 años
3	HUASTECA	Chicontepec	Barrio Tepenahuac a 3km al sureste del cerro Tepenahuac	608595.17 m E	2318158.20 m N	0.3	20	Tiradero a cielo abierto	Malo	3 años
4	HUASTECA	Huayacocotla	San Joseito	547189.87 m E	2263892.80 m N	3	10	Relleno Sanitario	Bueno	20 años
5	HUASTECA	Naranjos	Naranjos	635582.44 m E	2357617.46 m N	2.7	20	Relleno Sanitario	No opera	5 años
	HUASTECA	Naranjos		635582.44 m E	2357617.46 m N					
6	HUASTECA	Ozuluama	Congregación	616345.90 m E	2392065.24 m N	11	9 a 12	Relleno Sanitario	Bueno	9 años
7	HUASTECA	Pánuco	Paradero tramo Muriillo – Vega de Ototes	590311.87 m E	2443733.66 m N	7	62.8	Tiradero a cielo abierto	Malo	3 años
8	HUASTECA	Pueblo Viejo	Caseta Puente Prieto	635582.44 m E	2455448.68 m N	1.5	55	Tiradero a cielo abierto	Malo	4 años
9	HUASTECA	Tampico Alto	Camino vecinal Llano grande	622917.78 m E	2448314.45 m N	10	4	Tiradero a cielo abierto	Regular-Malo	10 años

Figura 3a. Registro de datos de SDF en hoja de cálculo (continua)

MACRO REGION DEL ESTADO DE VERACRUZ																	
Infraestructura							Maquinaria y Equipo	Proyecto Ejecutivo	Cumplimiento de la normatividad	Tipos de Residuos Depositados	Existe peneña	Comentarios					
CASITA	HALLA	BASCUILLA	COBERTIZO	OFICINAS	LAGUNAS	CELDA A											
					X	X	Tractor de orugas	NO	SI	RSU	SI	Se realizan actividades para cubrir los residuos. Es recuperable como relleno sanitario; se deposita en un predio adyacente					
X							No hay maquinaria	NO	SI	RSU	SI	Cuenta con infraestructura de relleno; debido a mala operación, se convirtió en tiradero a cielo abierto. Se queman los residuos; cada 6 meses DEHEC envía camiones para retirar los residuos al sitio.					
							No hay maquinaria	NO	NO	RSU	SI	No cuenta con infraestructura					
X	X			X		X	X	Una retroexcavadora cada 6 meses	NO	SI	RSU		Existen obras de relleno; pero tiene problemas de operación; posee un área que funciona como centro de acopio y otra de elaboración de composta.				
X	X				X	X		Cargador de orugas, 2 Cargadores D5 descompuestos	NO	SI		SI	Se tiene una celda con geomembrana y pozos para biogás, el sitio con algunas obras es recuperable como relleno sanitario.				
X	X	X	X	X	X	X	X	Cargado frontal de llantas	NO	SI	RSU		Cuenta con la mayoría de obras e infraestructura de relleno, pero tiene problemas de operación; cubre cada tres días los residuos, no hay frente de trabajo delimitado y no tiene manual de operación; se no hay control en la disposición; cuentan con una celda adecuada pero no se utiliza por problemas administrativos. El sitio es.				
X			X	X		X		Trascabo Caterpillar 955 L, en condiciones regulares	NO	SI	RSU	SI	El sitio se eligió arbitrariamente, es rentado y no cuenta con infraestructura; se encuentra junto al manglar.				
								Trascabo D-6	NO	NO	RSU	SI	El sitio se eligió arbitrariamente, es rentado y no cuenta con infraestructura; se encuentra junto al manglar.				
X				X		X		No hay maquinaria	SI	SI	RSU	SI	Se tiene programada la construcción de una celda aladña. Es recuperable como relleno				

Figura 3b. Segunda parte de Registro de datos de SDF en hoja de cálculo

2.3 Ajuste de datos.

Se realizó la geolocalización de los SDF de RSU en Veracruz para su integración al SIG. Se verificaron las coordenadas originales y se cambiaron de formato: estaban en formato UTM, y se efectuó la conversión al formato WGS-84 que utiliza Google Maps. Se descartaron los sitios repetidos, y las localidades que inicialmente fueron agrupadas en cuatro macroregiones en el estado, fueron reubicadas a las 10 regiones naturales del estado de Veracruz (figura 4), en las que actualmente se divide, delimitadas por características similares de relieve, hidrográficas, climatológicas, de fauna y/o vegetación.

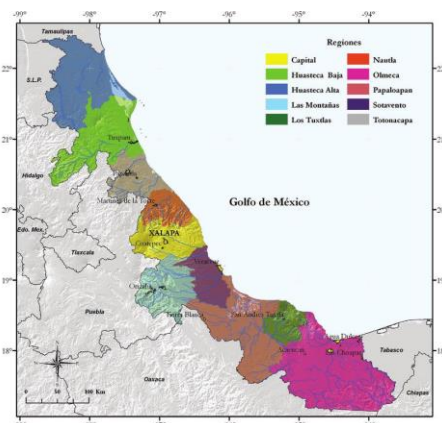


Figura 4. Regiones de Veracruz [19]

Así mismo se localizaron los cuerpos de agua cercanos a cada SDF para que en los casos que aplique, se pueda conocer la afectación en la zona de influencia en un área de un km a la redonda (o “buffer” en sistemas como ArcGis). El usuario podrá identificarla con un círculo rojo alrededor del punto de localización del sitio; cuenta con la función de acercamiento o zoom, con el fin de hacerla más visible.

2.4 Diseño.

Se ha seleccionado la metodología de desarrollo de software *Xtreme Programming* (Figura 5), que permite realizar ciclos de desarrollo cortos llamados iteraciones, con entregables funcionales al finalizar cada ciclo. En cada iteración se realiza un ciclo completo de análisis, diseño, desarrollo y pruebas, pero



Figura 7. Herramientas de software para desarrollo de la aplicación web

3. Resultados.

Se desarrolló una aplicación de software que integra un SIG accesible vía web, que tiene incorporada en su base de datos los SDF que se encuentran en el territorio del Estado de Veracruz. Al SISSOV se puede acceder desde cualquier dispositivo electrónico que posea un navegador conectado a Internet [22]. Dispone inicialmente de los SDF de Veracruz, sin embargo, su estructura interna permite que puedan ser incorporados datos de otros estados del país.

La ventana inicial muestra cuatro secciones: un encabezado que contiene el título de la aplicación y una barra de menú que incluye cuatro pestañas. Debajo y del lado izquierdo, una imagen despliega un catálogo de símbolos que se han elegido para identificar de manera más sencilla el tipo de SDF. Al centro un panel que contiene un mapa con un nivel de acercamiento que permite ver la totalidad del territorio de Veracruz. Debajo, un pie de página con datos de contacto (figura 8).

332

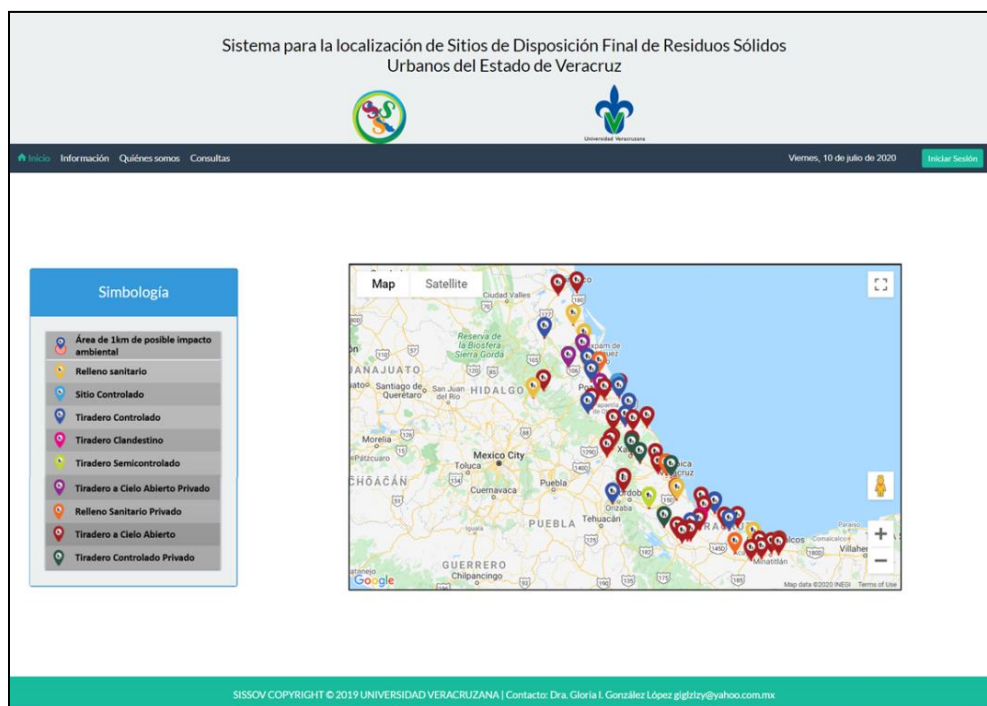


Figura 8. Pagina inicial del SISSOV

En el panel central se localiza el mapa del estado, al que se le pueden aplicar las funciones de alejar o acercar (+/-) para visualizar mejor algún lugar. Con el acercamiento es posible también observar el área de posibles afectaciones, que se reconoce como un círculo de color rojo (figura 9). Si se hace un clic sobre el SDF de interés, se puede obtener una ventana emergente que muestra algunos datos relacionados con el sitio.

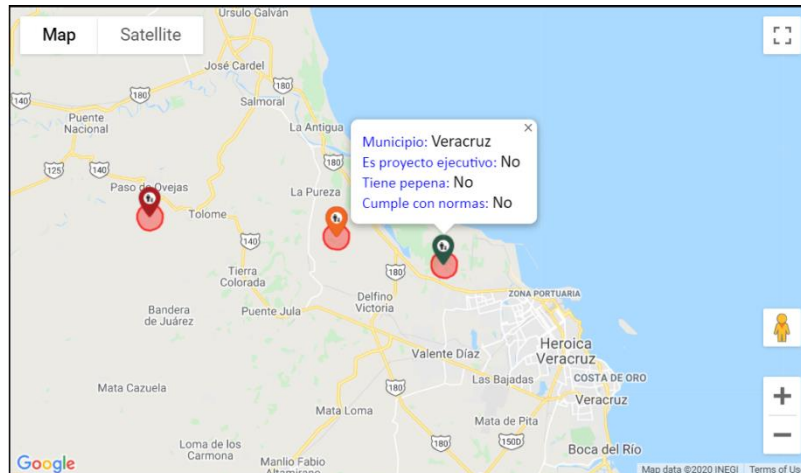


Figura 9. Acercamiento sobre la zona del mapa en SISOV

Los registros en la base de datos del SISOV pueden ser recuperados a través del módulo de CONSULTAS, que permite obtener los resultados de acuerdo con diversos criterios seleccionables por el usuario. Por ejemplo: ubicación geográfica o características físicas (figura 10).

333

Figura 10. Sección de consultas a la base de datos del SISOV

Cuando se muestran los resultados de alguna consulta, en el mapa se pueda obtener una versión descargable de la información relacionada con el sitio, a través del botón +info (figura 11). Esta información genera un archivo en Excel que puede almacenarse en el sitio que elija el usuario.

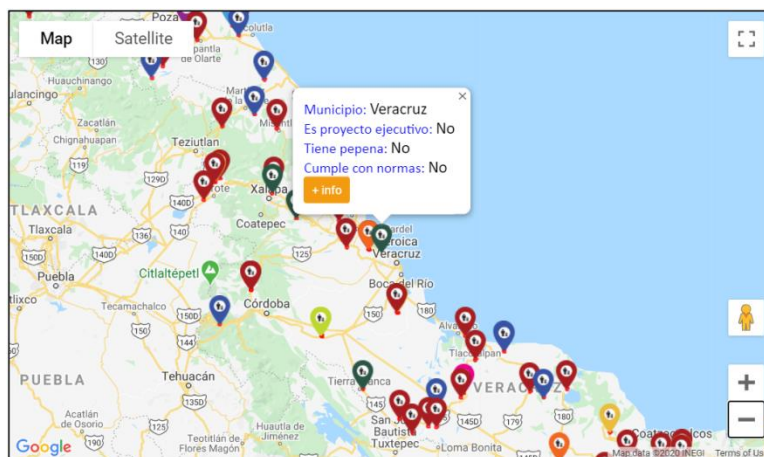


Figura 11. Sección de consultas a la base de datos del SISOV

Así mismo, como un valor agregado se ofrece debajo del área central del mapa, los datos generales relacionados con el estado de Veracruz (ya que por el momento son los únicos que se encuentran en la Base de datos), como se muestra en la figura 12. De esta manera se podrá visualizar un resumen de la información por estados.



Figura 12. Resumen general sobre SDF de RSU en el estado de Veracruz

4. Conclusiones

La información compilada en SISOV permite observar que en el estado de Veracruz existen decenas de SDF de RSU que no cumplen la normatividad.

Se logró identificar la carencia de herramientas orientadas a la ubicación de SDF en México. por lo que se diseñó el SISOV como una propuesta que permite conocer de manera general el problema de la disposición final inadecuada de los RSU en el Estado de Veracruz.

El SIG desarrollado en este trabajo por académicos de la Universidad Veracruzana, constituye una herramienta que se puede utilizar en la toma de decisiones para implementar estrategias de manejo y disposición de RSU en zonas con situaciones críticas.

El SIG desarrollado es de uso libre, lo que facilita a cualquier ciudadano conocer la zona de impacto de los SDF que se encuentren en el área donde radica. Servirá también de consulta a las organizaciones que tengan interés en contribuir a mejorar el ambiente.

Las autoridades correspondientes deberán actualizar el inventario con datos recientes. De tal manera que el SISSOV se convierta en una herramienta vigente para la Secretaría de Medio Ambiente de Veracruz y de la PMA.

Agradecimientos

Gracias a la contribución del Lic. Álvaro Jiménez Sánchez, que durante varios años de trabajo en la PMA, recopiló en una hoja de cálculo en Excel®, datos correspondientes a diversos SDF en el estado de Veracruz, obtenidos en recorridos de campo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad. (2019). Residuos: qué son, definición, clasificación, manejo y ejemplos. En línea: <https://www.responsabilidadsocial.net/?p=6949>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020
- [2] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015). Informe de la situación del medio ambiente en México 2015: Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. En línea: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf . Recuperado el: 20 de mayo de 2020
- [3] Bernache, G. (2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. Un estudio de la región centro occidente de México. En línea: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000500014 . Recuperado el: 20 de mayo de 2020
- [4] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2014). El medio ambiente en México 2013:2014. Residuos Sólidos Urbanos. En línea: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_2.html . Recuperado el: 20 de mayo de 2020
- [5] British Broadcasting Corporation (BBC). (2018). Los 10 países que más y menos basura generan en América Latina (y cómo se sitúan a nivel mundial). BBC: Noticias, Mundo. En línea: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-45755145>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020
- [6] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2017). Residuos Sólidos Urbanos. En línea: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020
- [7] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018a). Estadísticas ambientales: Módulo de residuos sólidos urbanos. Comité Técnico Especializado en Información sobre Emisiones, Residuos y Sustancias Peligrosas (CTEIERSP). En línea: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/323492/CTEIERSP_Sesio_n_abril_5__2018__RESIDUOS_SOLIDOS.pdf. Recuperado el: 20 de mayo de 2020
- [8] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). Imágenes de alta resolución. En línea: <https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/imgAR/>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020
- [9] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2017: Residuos Sólidos Urbanos. En línea: <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2017/default.html#Tabulados>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020
- [10] Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2008). Programa Rector del Desarrollo Litoral del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Secretaría de Comunicaciones y Transportes En línea:

<http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/PNDP2008/doc/pred/pver.pdf>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020

[11] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2019). Organiza SEMARNAT foro para diseñar el programa integral de manejo de residuos. En línea: <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/organiza-semarnat-foro-para-disenar-el-programa-integral-de-manejo-de-residuos?idiom=es>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020

[12] EcuRed. (2020). Software propietario. En Línea: https://www.ecured.cu/Software_propietario . Recuperado el 20 de mayo de 2020

[13] Gobierno del Estado de Veracruz. (2019). Mapa Dinámico de “Sitios de disposición final”. En línea: <http://www.veracruz.gob.mx/medioambiente/aplicacion-sitios-de-disposicion-final/>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020

[14] CEIEG. (2020). Centro de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz: Proyectos en proceso de actualización. En línea: <http://ceieg.veracruz.gob.mx/2016/02/17/informacion-geografica/> . Recuperado el: 20 de mayo de 2020

[15] D-Waste. (2012). Waste Atlas. En línea: <http://www.atlas.d-waste.com/>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020

[16] Retorna.org. (2019). Desembasura. En línea: <http://www.retorna.org/es/desembasura.html>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020

[17] Hanser, S. (2008). Landfills in the Western United States. U.S. Geological Survey. En línea: <https://www.sciencebase.gov/catalog/item/54342392e4b095098ca8d054>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020

[18] Will, P. (2018). Colorado Operating Commercial Landfills. En línea: <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=49361f5babfe48728b711544b2711053&extent=-110.1024,36.0363,-101.1376,41.6282>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020

[19] Veracruz-Itsmo. (2011). Mapa de las regiones de Veracruz. En línea: http://veracruz.blogspot.com/2011_06_17_archive.html. Recuperado el: 20 de mayo de 2020

[20] Joskowicz J. (2008). Reglas y Prácticas en eXtreme Programming. Universidad de Vigo, España. En línea: <https://iie.fing.edu.uy/~josej/docs/XP%20-%20Jose%20Joskowicz.pdf>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020

[21] OpenWebinars. (2018). Conoce las 3 metodologías ágiles más usadas. En línea: <https://openwebinars.net/blog/conoce-las-3-metodologias-agiles-mas-usadas/>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020

[22] SISSOV. (2019). Sistema para la localización de Sitios de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos del Estado de Veracruz. En línea: <http://iiuv.org/sissov/index.php>. Recuperado el: 20 de mayo de 2020

Diagnóstico y Percepción Universitaria Sobre la Gestión de los Residuos de la Universidad Tecnológica de Jalisco

¹José Gabriel Barboza Briones, ¹María Del Rosario Prado Salazar, ¹Nanima Sinaí Tejeda Ugalde

¹Universidad Tecnológica de Jalisco, Luis J. Jiménez #577, Col. 1º de mayo, C.P. 44979, Guadalajara, Jalisco, México Tel: 3315284716, Correo Electrónico: 2118300318@soy.utj.edu.mx.

Resumen

En este proyecto de investigación se describe la percepción ambiental que la comunidad universitaria tiene, respecto al manejo y disposición de los residuos generados dentro de la Universidad Tecnológica de Jalisco. La primera etapa de este proyecto consistió en realizar una investigación documental referente a los procedimientos establecidos por la institución para la conducción de sus residuos.

En la segunda etapa se realizó la aplicación de una encuesta en línea de manera aleatoria a las personas que conformaron la comunidad universitaria, siendo un total de 351 personas, esto con la finalidad de conocer su percepción sobre cómo se gestionan los residuos dentro de la institución. La encuesta se llevó a cabo a través de un formulario disponible en Google Forms, donde se establecieron un total de 22 preguntas relacionadas con la percepción del manejo de los residuos en la Universidad.

Los resultados generados de la aplicación de esta encuesta reflejan que 79.8% fueron estudiantes mientras que el restante porcentaje fueron profesores y personal administrativo. La mayor participación la realizó la carrera de Química área Tecnología Farmacéutica arrojando un porcentaje de 18.6 de los estudiantes. El 60.9% de los encuestados mencionaron que perciben las instalaciones internas y externas de la Institución en buenas condiciones de limpieza, un 37.9% les parecieron regulares y cerca de un 1.1% mala. Por otra parte, la Universidad realiza la separación primaria de acuerdo con la NAE-SEMADES-007 /2008, sin embargo, cerca del 20% de los encuestados no saben cómo se debe llevar a cabo la separación primaria.

337

Palabras clave: *manejo de residuos, percepción ambiental, residuos sólidos, separación primaria.*

1. Introducción

La Universidad Tecnológica de Jalisco (UTJ) es un Organismo Público Descentralizado del Gobierno del Estado de Jalisco con 21 años de historia, considerándose una alternativa de formación profesional para la población de Jalisco brindando beneficios como la incorporación al sector productivo con carrera técnica o la continuación de la profesionalización. Este compromiso con la sociedad no solo es en el social sino también en el medioambiental, fomentando en su día a día un impacto positivo a través de la mejora continua y en el marco de la legislación correspondiente [1].

Esta responsabilidad ha llevado a la Universidad merecerse diversos reconocimientos como el conferido por la entonces Secretaría del Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable (SEMADES) como Escuela Modelo en Manejo Integral de Residuos en el año 2010. Este nombramiento comprueba que existe un compromiso corresponsable con la comunidad, los alumnos, padres de familia y las colonias, desde la obtención de resultados concretos en materia de separación, clasificación y venta de residuos, a través de las instituciones educativas [2].

Dos años después, en el 2012 la UTJ recibe por medio de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) el reconocimiento como Escuela Verde, programa que buscaba reconocer las

acciones que organizan las instituciones educativas para mejorar su desempeño ambiental y contribuir a un medio ambiente de manera cotidiana. El objetivo de dicho programa es promover acciones integrales de gestión ambiental con la participación de la comunidad educativa [3]. También en este año, la Universidad recibe la certificación internacional en gestión ambiental ISO14001:2004, lo que llevo a implementar su Sistema de Gestión Ambiental (SGA) a través del Sistema de Gestión Integral.

Para la realización de todas las metas y objetivos ambientales establecidos, se instaló un comité integral de calidad y ambiental, el cual es el responsable de fomentar, promover y controlar todas las actividades de la UTJ que afecten la calidad de sus servicios y productos [4]. De acuerdo al Manual Ambiental M-SGA-01, se instituyeron subcomités como apoyo para asegurar la integridad del sistema y su actualización y mejora continua, así como la medición y seguimiento de los objetivos ambientales. Dentro de estos, se encuentra el Subcomité de Generación, Manejo y Disposición de Residuos. De lo anterior emanan los procedimientos pertinentes para lograr lo preestablecido como lo es la identificación de los aspectos ambientales (energía eléctrica, agua, residuos y papel), los controles operacionales, generación de indicadores, etc.

Uno de estos aspectos ambientales significativos de la UTJ, es el manejo y disposición de los residuos que se generan dentro de la institución como: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME), Residuos Peligrosos (RP) y los Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos (RPBI). Para fines de esta investigación solo se abordarán los RSU. Dentro de la Universidad se lleva a cabo el manejo de residuos bajo el Procedimiento P-SGA-04, donde se establece los medios para el manejo de residuos de tal manera que se separen adecuadamente y se maximice su aprovechamiento. La responsabilidad de que esto se lleve a cabo recae en el Departamento de Mantenimiento e Instalaciones de la institución.

La recolección de los residuos en los edificios de la institución se efectúa a través de la separación primaria establecida en la norma NAE-SEMADES-007/2008, que consiste en clasificar los residuos depositándolos en bolsas con su respectivo color, siendo los orgánicos en bolsas verdes, inorgánicos en bolsas azules y sanitarios en bolsas naranjas. De acuerdo con el Procedimiento T-SGA-03 “Control operacional de separación de residuos” el personal de limpieza es el garante de verificar que esto se cumpla, además de que ellos mismos son los responsables de cuantificarlos y registrarlos en la bitácora R-SGA-04-01 “Recolección y peso de residuos”.

La UTJ, dentro de las metas establecida en el documento Objetivos, indicadores y metas del SGA, considera que la generación de residuos sólidos por alumno por día deberá de ser de 40 g/día, misma que es calculada anualmente en el cuatrimestre septiembre-diciembre. Además, se aspira a clasificar y disponer los residuos sólidos generados en un 100%. De igual forma, se tiene estipulado que el 100% de alumnos de primer ingreso y personal laboral contratado debe de ser capacitado en temas relacionados con el cuidado del medio ambiente.

Lo previamente mencionado se busca conseguir mediante el Procedimiento P-SGA-10 “Competencia, formación y toma de conciencia” que tiene el objetivo de que toda aquella persona que tiene relación directa e indirecta con la institución sea consiente de los posibles impactos ambientales que pudieran causar en su instancia dentro de la misma. Este se aplica para toda la población de la UTJ mediante diversos mecanismos como son cursos de capacitación y de inducción que más tarde son evaluados a través de encuestas de satisfacción, listas de asistencia, etc.

Finalmente, la Universidad cuenta con 13 edificios distribuidos a través de una superficie total de 196,926.27 m² [5]. Por lo tanto, la Universidad no puede contar con un solo punto de acopio, sino que de forma distribuida coloca sus centros de acopio para sus procesos de compostaje y el acopio de sus residuos mediante contenedores a través de toda la Universidad.

La Universidad Tecnológica de Jalisco no solo brinda esta concientización a través de sus planes de estudio entre sus diferentes 20 carreras ofertadas, sino que ha adoptado una cultura y compromiso

ambiental a través de diversos mecanismos como la generación de un Sistema de Gestión Ambiental, el cual le ha llevado a la institución a recibir diversos reconocimientos en materia ambiental, lo que resulta de una correcta implementación del mismo sistema. Sin embargo, a través de los años la comunidad universitaria crítica ha percibido ciertas áreas de oportunidad para mejorar dicho sistema mediante la participación de la población estudiantil, académica y administrativa.

Con esta investigación se pretende conocer la situación actual de la Universidad que nos permita analizar las partes débiles y como se puede rediseñar para generar condiciones idóneas que reduzcan el impacto ambiental que se genera en la misma, además se aplica un instrumento como la encuesta para conocer la perspectiva que la comunidad universitaria tiene en cuenta a las diversas estrategias que la institución implementa y su conocimiento en este tema debido a que son indicadores establecidos por la propia Universidad. Finalmente, se aspira a participar en nuevas certificaciones ejecutando nuevos programas como la sustitución de embalajes en los productos que se ofertan dentro y fuera de la Universidad, elaboración de prácticas que fomenten la separación secundaria dentro de la institución y por ende su valorización con beneficios tanto para estudiantes como para la institución.

1.1 Objetivo

Conocer la opinión de la comunidad universitaria de la Universidad Tecnológica de Jalisco respecto al manejo de los residuos que se generan día a día mediante encuestas con la finalidad de generar propuestas de mejora que permitan transitar a una mejor gestión de los residuos y obtener nuevas certificaciones.

2. Gestión de residuos en instituciones educativas

La contaminación ambiental es generada por dos tipos fuentes como son las naturales, por ejemplo, las emisiones por erupciones volcánicas o por la descomposición de restos de animales; y también tenemos las fuentes antropogénicas, que surgen debido a las actividades humanas como son las industriales, domésticas o de recreación. Entre todos estos dinamismos generamos incontables cantidades de residuos de los cuales podemos clasificarlos de distintas maneras de acuerdo con sus características fisicoquímicas y biológicas. La mayoría de los residuos generados diariamente poseen una fracción orgánica biodegradable y otra inorgánica no biodegradable, en esta última, la descomposición natural es muy lenta debido a sus características químicas, de allí que su manejo y disposición final requiere de mayor importancia [6].

En concordancia con lo antes mencionado, se cree que las actividades habituales de la sociedad que desarrolla diariamente como la alimentación, el consumo de productos y servicios y las actividades de desarrollo como el estudio y trabajo, son de gran impacto ambiental. Esto sumado al creciente progreso económico, los procesos industriales y la cultura de consumismo irracional han provocado que el volumen de residuos aumente de manera rápida, lo que ha llevado a los países con mala gestión de los residuos a colapsar los rellenos sanitarios provocando con esto consecuencias e impactos locales como afectaciones a la salud pública, medio ambiente y la economía además de impactos globales como agotamiento de recursos y cambio climático.

De acuerdo con datos del Coordinador Regional Químicos y Residuos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), se generan anualmente 10 mil millones de toneladas de residuos urbanos y él mismo alerta que va en aumento dicha generación [7], sin embargo, cerca del 44% de estos son generados por los países con economías más desarrolladas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) [8]. A nivel América Latina y el Caribe, la generación de residuos sólidos urbanos es aproximadamente de 1 kg/habitante/día [7] mientras que en nuestro país el último informe de la SEMARNAT menciona que la generación por habitante al día fue de 1.2 kg/habitante/día [8].

Estos datos, más los ya tangibles impactos, han generado preocupación y conciencia entre la población, la industria y los tomadores de decisiones locales ya que cada vez es más complicado realizar una correcta gestión de los problemas ambientales tanto por incapacidades técnicas como operativas [6]. Parte importante de las incontables medidas de prevención y reducción de los residuos que se generan en el día a día encontramos la participación de las instituciones educativas en todos sus niveles, quienes desde el punto de vista ambiental y de salud pública, buscan manejar adecuadamente los residuos en las siguientes etapas posteriores a su generación con el objetivo de mitigar los impactos negativos al medio ambiente y a la población [8].

Cabe mencionar también lo estipulado en el Capítulo 36 “Fomento de la Educación, la capacitación y la toma de conciencia” del Plan Agenda 21, donde se menciona que la educación es de importancia crítica para abordar cuestiones ambientales y de desarrollo, además de que se recomienda a las autoridades educacionales, con la asistencia apropiada de grupos comunitarios o de las organizaciones no gubernamentales, presten su colaboración o establezcan programas de formación teniendo en cuenta el carácter y los métodos de educación sobre el medio ambiente y el desarrollo [9].

En las instituciones educativas de México, se adoptaron diversas estrategias para implementar las exigencias globales a partir del Plan de acción para el desarrollo sustentable diseñado por la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) el cual promovía una transición hacia el desarrollo sustentable en nuestro país que permitiese frenar los procesos de deterioro ambiental y agotamiento de los recursos, con la participación de las instituciones de educación superior, responsables de la formación profesional de las generaciones de jóvenes y de la investigación científica. También se pretendía impulsar la participación, análisis, solución y prevención de problemas ambientales, así como la construcción de escenarios futuros del estado del medio ambiente y del desarrollo mediante acciones estratégicas de investigación, docencia, difusión y extensión [10].

En este sentido, se han documentado tantos casos de éxito en nuestro país donde las instituciones han reforzado su compromiso ambiental a través acciones por ejemplo el Plan Institucional Hacia la Sustentabilidad de la Universidad Autónoma Metropolitana [11], el Plan Maestro para la Sustentabilidad de la Universidad Veracruzana [12] y el Plan Universitario de Sustentabilidad de la Universidad de Guadalajara [13].

En estos planes hacen hincapié en la búsqueda de soluciones integrales que permitan a la población llevar cabo sus actividades diarias de manera armónica con el ambiente que los rodea. Dentro de las alternativas y soluciones que se pueden encontrar está el ahorro de agua, ahorro de energía, gestión de los residuos, actividades que incentiven la toma de conciencia, entre otras.

3. Metodología

Para la elaboración de este trabajo de investigación cuantitativa se llevó a cabo una revisión de los documentos con los que cuenta la institución en materia de residuos, además de la aplicación de encuestas en línea de manera aleatoria entre todas las personas que conformaron la comunidad universitaria durante el año 2019 siendo un total de 4,123 personas, esto con la finalidad de conocer su percepción sobre cómo se gestionan los residuos dentro de la institución.

Con esta información, se determinó la muestra a encuestar ejecutándose la ecuación (1) obteniendo un total de 351 encuestas con un margen de error de 5% y un nivel de confianza de 95% de probabilidad de afirmar que lo que en este estudio se explica se acerca a la realidad general. Una muestra de población finita bien estimada evita 1) que una cantidad menor sea insuficiente y 2) una cantidad mayor sea innecesaria implicando una pérdida de tiempo y recursos [14].

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

Donde:

n = muestra requerida

Z = Valor de tablas = 1.96 con un nivel de confianza de 95%

N = Tamaño de población de la UTJ (4,123)

p = probabilidad de valor esperado = 0.5

q = probabilidad de valor no esperado = 0.5

e = Error máximo permitido = 5%

Dicho instrumento se distribuyó en línea de forma aleatoria entre la comunidad universitaria a través de un formulario disponible por Google Forms. En total se realizaron 20 preguntas de opción múltiple y 2 preguntas de respuesta abierta, relacionadas a la percepción sobre la gestión de los residuos dentro de la institución. Dentro de la estructura de la encuesta se solicitó información general como ocupación dentro de la universidad, es decir, si son alumnos, profesores y/o personal administrativo, además de conocer su sexo, edad, etc.

Dentro de las preguntas redactadas se cuestionó sobre si la comunidad universitaria tenía conocimiento del SGA, si habían recibido información con anterioridad y si sabían a ciencia cierta sobre en qué consiste el mismo. Además de esto se les pidió a los encuestados que nos mencionaran como percibían las instalaciones de la universidad en cuanto a limpieza, distribución de los contenedores de residuos, la información recibida al respecto del manejo de los residuos generados, entre otras. Se les solicitó también que mencionaran cuanto interés tienen en aprender sobre el tema con la finalidad de reducir el impacto ambiental generado por los residuos dentro de la universidad, como les gustaría participar y que opciones o comentarios al respecto tenían.

La aplicación de las encuestas se llevó a cabo en el mes de abril del presente año haciendo uso de los medios digitales propios de la universidad como es el correo electrónico institucional mismo que se brinda a cada persona relacionada con la institución, lo que genera confianza debido a que no se encuentran encuestas duplicadas o generadas por personas ajenas a la misma, sino que cada persona contesta en una sola oportunidad.

4. Resultados

Del total de la población encuestada, el 57.4% fueron del sexo femenino y el restante 42.6% fueron del sexo masculino. La mayor parte de las personas que respondieron a la encuesta fueron estudiantes con un 79.8% mientras que el restante porcentaje se distribuyó entre profesores y personal administrativo (ver Figura 1). El rango de edad de la población con mayor participación fue de entre 18 y 30 años con 78.2% (ver Figura 2).

El medio de distribución de la encuesta permitió que esta fuera más aleatoria y por tanto se logró la participación de los integrantes de todas las carreras que oferta la Universidad, siendo la carrera de Técnico Superior Universitario (TSU) Química Área Tecnología Farmacéutica con un 18.6% quien más encuestas realizó. Le siguió TSU Química Área Tecnología Ambiental con un 16.7% y TSU Administración Área Capital Humano con 13.8% (ver Figura 3). En cuanto a la formación de profesores y administrativos, el 52.8% cuenta por lo menos con una Licenciatura o Ingeniería, el 30.2% con una Maestría y el 11.3% con Doctorado (ver Figura 4).

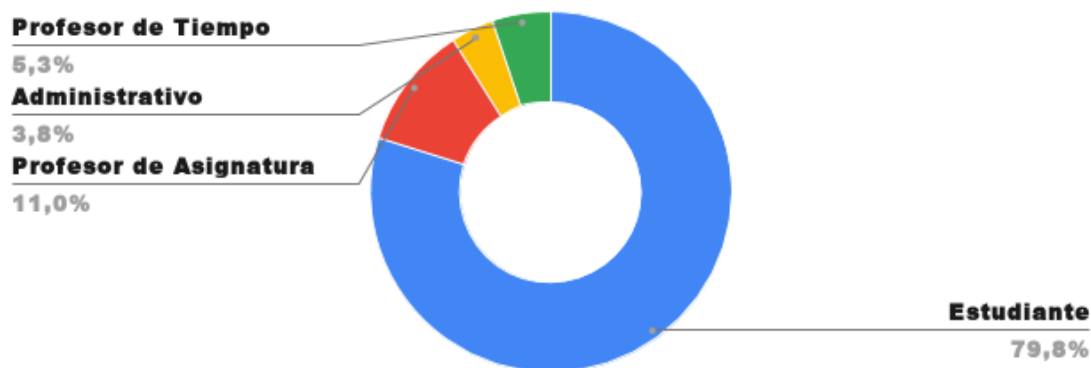


Figura 1. Participación en la encuesta por ocupación dentro de la UTJ.

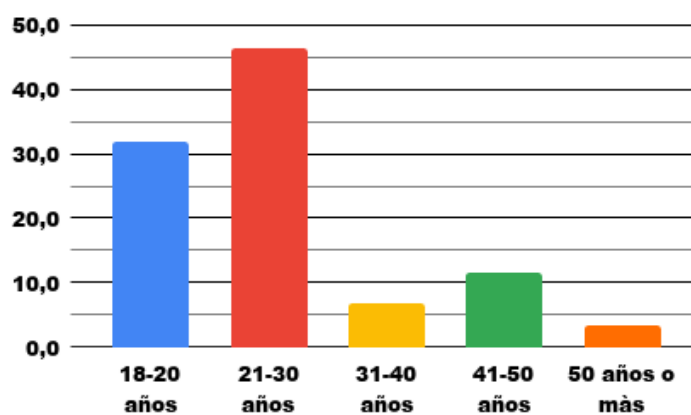


Figura 2. Distribución de edades por decenios.

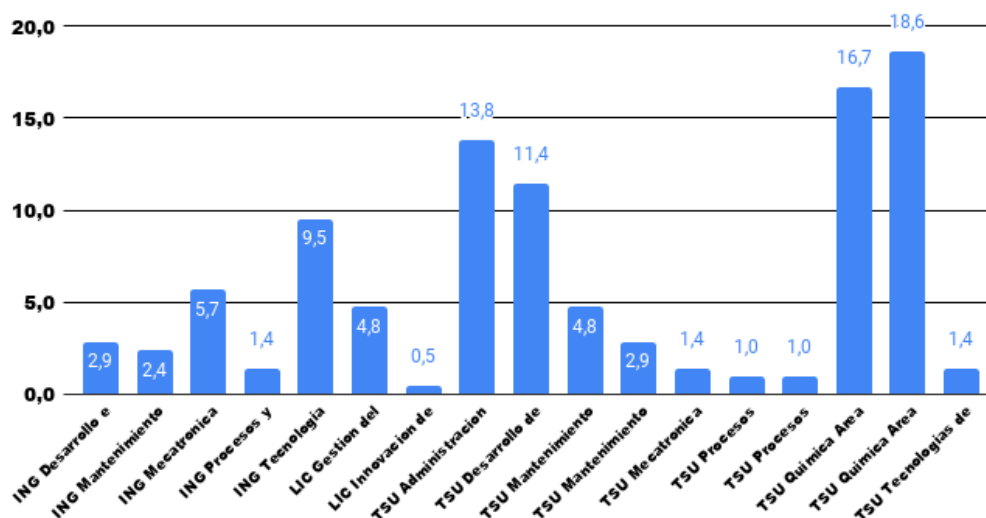


Figura 3. Porcentaje de participación por carrera.

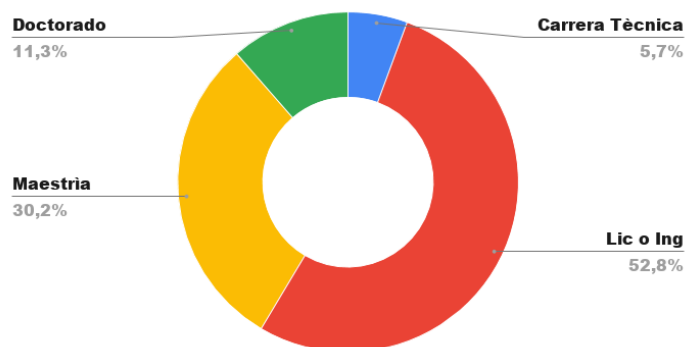


Figura 4. Grado de estudios del personal administrativo y profesores que contestaron la encuesta.

De acuerdo con lo establecido en el Procedimiento P-SGA-10 “Competencia, formación y toma de conciencia” indica que toda la población universitaria debería tener conocimiento de la existencia de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA), sin embargo, solo el 78.5% de los encuestados afirma saber del mismo y el 21.5% lo desconoce (ver Figura 5).

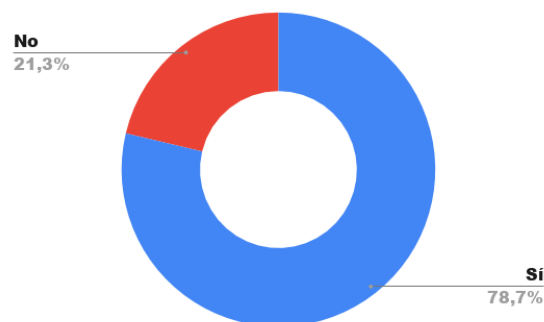


Figura 5. Respuesta a pregunta ¿Sabía usted que la UTJ cuenta con un Sistema de Gestión Ambiental?

Del 78.5% de los encuestados que tienen conocimiento sobre el SGA, el 44.8% mencionaron si haber recibido alguna vez información sobre el mismo, mientras que el restante 55.2% dijeron que no (ver Figura 6). Con base a los comentarios mencionados por los participantes, que el 100% de la población no esté bien informada sobre el tema es debido a que la capacitación se da únicamente al incorporarse ya sea como estudiante o como trabajador a la Universidad y posteriormente ya no hay seguimiento.

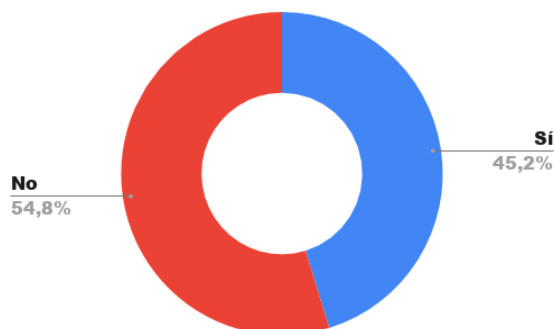


Figura 6. Respuesta a pregunta ¿Alguna vez ha recibido información sobre el Sistema de Gestión Ambiental

El 60.9% de los encuestados mencionaron que perciben las instalaciones internas y externas del plantel en buenas condiciones de limpieza, un 37.9% les parecieron regulares y cerca de un 1.1% mala. Del total de los encuestados, el 94.6% consideran que la responsabilidad de que la Universidad se mantenga limpia recae en todos por igual, el porcentaje restante consideran que tanto el personal de aseo y de mantenimiento deberían de ser responsables de la limpieza, lo que demuestra un poco de cultura de corresponsabilidad.

Como se mencionó anteriormente, el tipo de separación que se lleva a cabo dentro de la institución es la primaria conforme a lo establecido en la norma ambiental estatal NAE-SEMADES-07/2008, es decir, clasificación de los residuos en orgánicos (verde), inorgánicos (azul) y sanitarios (naranja), sin embargo, cerca del 20% de los encuestados no saben cómo se debe llevar a cabo la separación primaria. En cuanto a la separación secundaria de los residuos, cerca del 70% de los encuestados afirman saber poco o nada al respecto, todo esto implicaría mayor esfuerzo y capacitación para la implementación de nuevo sistema que permita evolucionar de la separación primaria dentro del plantel a la separación secundaria. Aunque de hacerlo, la comunidad universitaria lo vería con buena aceptación ya que el 98.1% considera que sería importante para la Universidad llevar a cabo programas de separación secundaria y aprovechamiento de los residuos que se generan dentro de la misma como valorización y reciclado de los mismos.

Lo antes analizado se expresa de manera más contundente con los siguientes resultados; El 57.9% de los encuestados afirmaron no saber cómo la Universidad maneja internamente los residuos generados diariamente, el 17.6% mencionaron que se lleva a cabo un proceso de valorización de los residuos inorgánicos y compostaje de los orgánicos dentro de la institución, recayendo este conocimiento entre personal académico y administrativo.

El desconocimiento del manejo interno de los residuos y del proceso de clasificación, no implica que exista una inconciencia sobre el tema entre la comunidad universitaria, debido a que el 95% de los encuestados afirmaron que al encontrar un contenedor lleno para depositar sus residuos prefieren trasladarse hasta encontrar otro vacío evitando así una sobreacumulación o tirarlo al piso. También cerca del 70% hace mención que al consumir un producto consideran la cantidad de residuos que generarán.

Gran cantidad de residuos que se generan dentro de la Universidad provienen de los negocios de comida que se encuentran fuera de las instalaciones y utilizan embalajes de un solo uso, en su mayoría de unicel y botellas de plástico. Un 87.4% de los encuestados mencionaron que deberían de colocarse contenedores de separación en el exterior del plantel, aunque el restante porcentaje (16.4%) mencionan que de no mejorar la cultura ambiental de las personas que generan los residuos, el problema de se reducirá.

Lo anterior se relaciona a que la Universidad debe de tomar medidas para que los vendedores externos ofrezcan alternativas en cuanto a su embalaje, debido a que impacta directamente en los indicadores ambientales de la institución. Estos indicadores podrían llevar a la Universidad a modificar su Procedimiento P-SGA-12 “Control operacional residuos en cafetería” para considerar reformas que incluyeran procedimientos en el manejo de los residuos generados por el comercio externo con términos del ganar – ganar.

La gestión de los residuos radica en el hecho de como la comunidad se involucra en el tema y se concientiza de la problemática, por esta razón, el 88.5% que muestra interés en cuanto a que, si participaría en programas, talleres y/o cursos relacionados al tema de residuos se palpa promisorio (ver Figura 7). Sin embargo, debe de existir un agente o mecanismo que motive a que este interés se convierta en realidad, principalmente con programas que le den seguimiento al tema para toda la comunidad universitaria, desde su ingreso hasta el término de su relación.

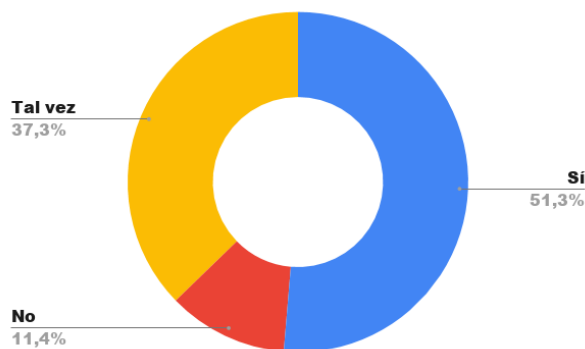


Figura 7. Respuesta a pregunta ¿Participarías en programas, talleres y/o actividades relacionadas a temas de residuos?

Por último, el 45.2% de comunidad universitaria encuestada hace mención que dentro de la Universidad se lleva a cabo una correcta gestión de los residuos, es decir que la misma cumple con sus objetivos y metas establecidas en su SGA, un porcentaje mayor, el 49.4% afirma que la gestión es regular, principalmente por motivos como poca sensibilización a estudiantes que pasan el primer cuatrimestre, o la baja promoción de proyectos relacionados al tema, entre otras. El restante 6.4% considera que la gestión que se lleva dentro de la Universidad es mala, percibiendo entre ellos opiniones como instalaciones sucias, contenedores con bolsas distintas a las establecidas, y en algunos otros casos, la forma en que el personal del aseo lleva a cabo sus labores, debido a que los han observado revolviendo los residuos que ya estaban previamente separados, justificando falta de capacitación.

5. Conclusiones

Como se ha mencionado con anterioridad, la Universidad cuenta con varias certificaciones y reconocimientos que respaldan el interés y el esfuerzo de la institución con respecto a su compromiso ambiental, sin embargo, es importante redoblar esfuerzos y dar mayor seguimiento a las estrategias y controles operacionales que se ya se implementan aunado a un análisis periódico de indicadores que puedan dar paso a la mejora de las áreas de oportunidad, como las reflejadas en el presente estudio, con la finalidad de seguir evolucionando y aspirar a otros reconocimientos que requieran un mayor compromiso.

Por mencionar algunos ejemplos, la Universidad puede aspirar a ser acreedor de la certificación como “Espacio Libre de Unicel” otorgado por la Asociación Civil Casa Cem una vez modificado los hábitos de consumo, uso y desecho del unicel [15]. De igual forma, con algunos mecanismos de mejora en temas de agua, energía, aire y residuos, puede postularse para participar en el “Programa de Cumplimiento Ambiental Voluntario” promovido por la SEMADET [16]. Finalmente demostrando buenas prácticas y un cimentado compromiso ambiental, podría participar para la obtención del “Certificado de Calidad Ambiental” que emana del Programa Nacional de Auditoria Ambiental promovido por la PROFEPA [17]. De igual manera, a través de lo analizado, se pudo observar que la comunidad universitaria cuenta con un alto interés en saber sobre el tema de la gestión de residuos y más aún poder involucrarse para que este problema sea cada vez menor.

El área de oportunidad en este caso y del cual se estuvo ausente en el estudio, es conocer la percepción de los comerciantes y que tanto estarían dispuestos a colaborar con la Universidad para cambiar sus estrategias de venta para impactar lo menos posible en el medio ambiente.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] Universidad Tecnológica de Jalisco. (2020). *Nosotros: UTJ*. En línea: www.utj.edu.mx. Recuperado el 11 de abril 2020.
- [2] Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. (2013). *Escuela modelo en manejo integral de residuos*. Obtenido de SEMADET: <https://semadet.jalisco.gob.mx/escuela-modelo-en-manejo-integral-de-residuos>. Recuperado el 8 de septiembre de 2013.
- [3] Senado de la República. (2015). *Gaceta Comisión Permanente*. Obtenido de SENADO.GOB.MX: https://www.senado.gob.mx/64/gaceta_comision_permanente/documento/55069. Recuperado el 27 de mayo de 2015.
- [4] Universidad Tecnológica de Jalisco (2020). *Sistema de Gestión Integral*. Obtenido de <https://www.utj.edu.mx/index.php/remository/func-finishdown/2415/>.
- [5] Transparencia. (2017). *Inventario de Bienes Inmuebles*. Obtenido de [transparencia.info.jalisco: https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/Inventario%20de%20Bienes%20Inmuebles%202017.pdf](https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/Inventario%20de%20Bienes%20Inmuebles%202017.pdf).
- [6] García, H., Toyo, L., Acosta, Y., Rodríguez, L., & El Zauahre, M. (julio-septiembre de 2014). Percepción del manejo de residuos sólidos urbanos (fracción inorgánica) en una comunidad universitaria. *Multiciencias*, XIV (3), 247-256.
- [7] Pon, J. (2019). *Taller regional: Instrumentos para la implementación efectiva y coherente de la dimensión ambiental de la agenda de desarrollo. Caso 4: Residuos*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. San José: ONU Medio Ambiente.
- [8] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. México: SEMARNAT.
- [9] Organización de las Naciones Unidas. (2000). *Agenda 21*. Río de Janeiro: PNUMA.
- [10] Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. (2009). *Plan de acción para el desarrollo sustentable en las instituciones de educación superior*. México: ANUIES.
- [11] Universidad Autónoma Metropolitana. (2006). *Universidad Autónoma Metropolitana*. Obtenido de página de la UAM, recuperado el 1 de septiembre de 2006.
- [12] Universidad Veracruzana. (2010). *Universidad Veracruzana*. Obtenido de UV: <https://www.uv.mx/cosustenta/files/2012/09/PlanMaestroSustentabilidad.pdf>,
- [13] Universidad de Guadalajara. (2014). *Universidad de Guadalajara*. Obtenido de UdeG: <http://www.plus.udg.mx/>. Recuperado el 1 de junio de 2014.
- [14] Fernández, P. (2001). *Determinación del tamaño muestral*. Coruña: Fisterra. Obtenido de https://www.fisterra.com/mbe/investiga/9muestras/tamano_muestral.pdf
- [15] Casa Cem. (2020). *Casa Cem*. Obtenido de http://casacem.com/proyecto_detalle.php?id=6. Recuperado el 15 de abril de 2020.
- [16] Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (2012). *Programa de Cumplimiento Ambiental Voluntario*. Obtenido de SEMADET: http://siga.jalisco.gob.mx/multi/pcav_generalidades_v0-2.pdf. Recuperado el 1 de febrero de 2012.
- [17] Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (2019). *Programa Nacional de Auditoría Ambiental*. Obtenido de PROFEPA: <https://www.gob.mx/profepa/acciones-y-programas/programa-nacional-de-auditoria-ambiental-56432>. Recuperado el 8 de abril de 2019.

Experiencias de Educación Ambiental para la Gestión Integral de Residuos en Etzatlán, Jalisco.

¹Yetzali Arcoiris Corona Chávez, ¹Laura Estefanía de la Torre Gómez

¹ Consorcio de Investigación y Diálogo sobre Gobierno Local. Prolongación Dr. Ángel Leño #1595. Colonia El Tigre, Zapopan, Jalisco. 27 33 39 00 ext. 07. yetzalicorona@ciesas.edu.mx.

Resumen

Bajo la premisa de que la educación ambiental juega un papel importante para la solución de problemas ambientales y el desarrollo sostenible, se desarrolló un Programa de Educación Ambiental donde se definieron las estrategias para la realización de actividades, cursos y talleres de capacitación de acuerdo con el tipo de audiencia y con los objetivos planteados en el Programa Municipal de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PMPGIRSU) de Etzatlán. Estas estrategias se diseñaron para sensibilizar y concientizar a los diversos grupos sociales, de acuerdo con las edades, las etapas del proyecto, los recursos disponibles y el grado de apoyo de los actores clave. Con base en ello se identificaron los siguientes grupos y espacios clave en la integración del componente de Educación Ambiental: 1. cursos de verano, 2. capacitación de actores clave, 3. comunicación y difusión y 4. instituciones educativas. El presente extenso tiene como finalidad dar a conocer los aprendizajes y compartir las experiencias de educación ambiental para la gestión integral de residuos en el municipio de Etzatlán.

Palabras Clave: *Educación ambiental, Etzatlán, Gestión Integral de Residuos, Participación ciudadana.*

347

1. Introducción

El municipio de Etzatlán pertenece a la Región Valles del estado de Jalisco. Según el Censo de Población y Vivienda 2015 del INEGI, el municipio tiene 19, 847 habitantes, de los cuales el 48.1% son hombres y 51.9% mujeres. De acuerdo con el Diagnóstico Municipal (IIEG 2019), las principales actividades económicas en el municipio son: la agricultura, ganadería, industria y comercio.

En materia de residuos, el municipio genera alrededor de 19 toneladas diarias, que representan el 0.24% de los residuos generados en el estado. Dentro de las dependencias municipales encargadas de la gestión integral de residuos sólidos y de hacer cumplir los objetivos del Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (PMPGIRSU) se encuentra la Dirección de Servicios Públicos Municipales, la Dirección de Aseo Público y la Dirección de Ecología y Medio Ambiente.

El PMPGIRSU 2018-2021 [1], establece los objetivos y lineamientos para implementar estrategias de gestión integral de residuos sólidos urbanos que, de manera general, permitan minimizar el impacto ambiental ocasionado por el depósito de residuos en el sitio de disposición final, favorezcan el aprovechamiento del componente orgánico (48%) y faciliten la valorización de residuos inorgánicos reciclables.

En dicho programa, se menciona que, para lograr una gestión sustentable de los RSU, es necesario establecer acciones de educación para consolidar una cultura ambiental y la participación ciudadana en el municipio. Lo anterior se refleja en su objetivo específico número 6: “Desarrollar un programa de educación ambiental para fomentar la cultura ambiental y la participación ciudadana en la gestión integral de RS.”

Existe una relación estrecha entre la educación y el desarrollo, puesto que son los sistemas educativos los que determinan el tipo de sociedad y de individuo que prevalece y, por consiguiente, el desarrollo que se

pretende lograr. Por este motivo, la educación ambiental tiene un papel fundamental en la construcción de sociedades sostenibles [2].

La educación ambiental es un proceso formativo en el que se construyen conocimientos y se desarrollan capacidades, actitudes y valores que permiten la comprensión de la realidad ambiental y sociocultural [3]. Actualmente, se puede considerar como una educación para “cambiar la sociedad” que permite a los individuos interpretar, comprender y conocer la complejidad y globalidad de los problemas ambientales, mediante conocimientos, actitudes y comportamientos que fomenten una forma de vida sostenible [4].

Por lo anterior, en Etzatlán se desarrolló un Programa de Educación Ambiental (PEA) cuyo objetivo principal es sensibilizar y concientizar a la comunidad sobre la problemática ambiental ocasionada por una inadecuada gestión de residuos y promover una relación responsable con el medio ambiente, invitándolos a separar sus residuos para que puedan ser reincorporados al ciclo de materiales, específicamente, para la revalorización del componente orgánico en una planta de compostaje.

El presente documento está dividido en tres partes. En la primera parte se explica la metodología utilizada para el desarrollo del componente de Educación Ambiental; posteriormente se analizan los resultados y las áreas de oportunidad detectadas con base en las experiencias de educación ambiental realizadas en el municipio de Etzatlán, de acuerdo con el PEA; y, por último, a manera de conclusión, se expone la importancia del componente de Educación Ambiental y su seguimiento.

2. Objetivos

2.1 General

Destacar la importancia de la educación ambiental para la Gestión Integral de Residuos.

2.2 Específico

- Compartir y analizar las experiencias de educación ambiental, y la importancia de la participación ciudadana para lograr los objetivos del PMPGIRSU.
- Enunciar las estrategias y enfoques pedagógicos utilizados para el diseño de las actividades de educación ambiental desarrolladas en el municipio de Etzatlán.
- Exponer el proceso metodológico y los resultados del Programa de Educación Ambiental.

3. Marco teórico

De acuerdo con Sauvé, para que la Educación Ambiental logre la motivación, la actuación y el compromiso de los participantes, se les debe proporcionar tres tipos de saberes [4][8].

1. Un *saber-hacer*, que contempla brindar conocimientos e información para que los estudiantes conozcan la complejidad del ambiente, comprendan que la problemática ambiental es un fenómeno global y entiendan el significado del desarrollo sostenible.
2. Un *saber-ser*, que supone la sensibilización de los participantes sobre la necesidad de lograr un modelo de desarrollo y sociedad sostenibles.
3. Un *saber-actuar*, que proporciona una formación en aptitudes que les permita diagnosticar y analizar las situaciones, propiciando una actuación y participación individual y colectiva que sea responsable, eficaz y estable a favor del desarrollo sostenible.

Dentro de las estrategias pedagógicas, destaca la educación ambiental *proyectada hacia la comunidad* [5] cuando se busca el contacto directo con la comunidad, la participación pública y las actividades

voluntarias, esto con el propósito de idear estrategias que puedan brindar solución a problemáticas ambientales locales, incorporando un cambio de conducta y/o un objetivo de cambio de política.

El modelo educativo propuesto por Espejel [6] considera las siguientes etapas: 1. *Sensibilización-motivación*, cuya estrategia es la observación de la realidad involucrando impacto visual; 2. *Conocimiento-información*, donde se pretende investigar y reflexionar sobre la problemática, posibles causas, consecuencias y soluciones; 3. *Experimentación-interacción* donde se realizan actividades, programas y tareas ambientales; 4. *Valoración-compromiso*, donde se promueve el compromiso ambiental y se forma un comité ambiental y; 5. *Acción voluntaria-participación*, en la que aplican programas de mayor rigurosidad en el campo local. Si bien es una metodología planteada para la educación formal, ciertos componentes se pueden aplicar a las actividades no formales, dado que dicha propuesta busca generar sentido de responsabilidad ambiental, expresión y un pensamiento crítico de la sociedad.

Por otra parte, el *estudio por medio de las emociones, impacto y experiencia* considera a la emoción como un punto de partida del impacto ambiental en los participantes, presentando la ventaja de que el aprendizaje emocional y cognitivo impulsa la atención, concentración y evocación de lo aprendido [7].

Son varias las corrientes y los enfoques didácticos que han aportado a la educación ambiental, entre los principales se encuentran la corriente naturalista, de resolución de problemas, educación ecocéntrica, ecología profunda, educación basada en el lugar, enfoque combinado, entre otras [8].

Los enfoques didácticos más adecuados para lograr los objetivos del PEA Etzatlán son: la *educación basada en el lugar*, la cual pretende reincorporar la identidad ambiental e involucrar la responsabilidad del participante con mayor impacto [9]; y el *enfoque combinado* planteado por Kudryavtsev [10], el cual surge de la aplicación experimental e instructivo, donde el participante elabora un significado y lo transfiere a su ambiente.

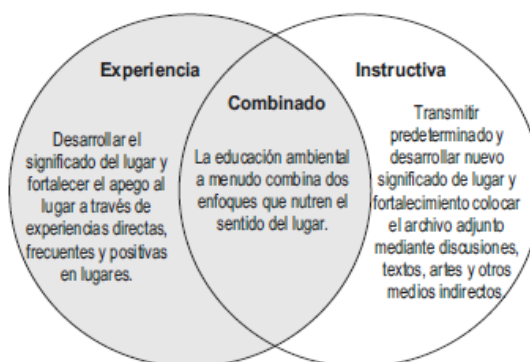


Figura. 1. Enfoque combinado Kudryavtsev (2013) obtenido de [7].

Por lo anterior, el eje principal sobre el que se diseñaron las actividades de educación ambiental en Etzatlán es el siguiente:

1. Transmitir conocimientos para la comprensión de la problemática ambiental y el desarrollo de un pensamiento y opinión críticos (Aprendizaje). Se utiliza un *enfoque combinado* dado que las actividades planteadas transmiten información incorporando la sensibilización visual, emocional y experiencial. Se busca fortalecer el sentido de pertenencia de los participantes hacia el entorno.
2. Promover la participación y reflexión desde un contexto local hacia uno global, ya que el medio ambiente es una responsabilidad compartida (Participación y Reflexión).
3. Que el individuo desarrolle valores, conductas y acciones apropiadas con relación a su entorno, fomentando el compromiso social (Acción).

Figura. 2. Ejes para el diseño de actividades.

Cabe resaltar que todas las actividades de educación ambiental realizadas fueron no formales, es decir, fuera del sistema educativo institucional. La EA no formal, se dirige a todos los sectores de la comunidad con el fin de proporcionar mayor comprensión sobre las realidades socioambientales globales y locales, buscando generar actitudes positivas hacia el medio natural que se traduzcan en acciones para la transformación social. Generalmente se lleva a cabo mediante talleres, cursos, capacitaciones, así como la difusión en medios de comunicación, programas de radio y/o televisión desarrollados por organizaciones no gubernamentales, grupos ecologistas, ayuntamientos y comunidades autónomas [11].

A diferencia de la EA formal, no se centra en la incorporación de la dimensión ambiental de manera transversal en el currículo, o la inserción de nuevas asignaturas relacionadas en el marco de procesos formales educativos [12].

4. Metodología

Para el desarrollo del Programa de Educación Ambiental y las actividades realizadas en la comunidad, se hizo un diagnóstico del manejo de residuos en el municipio utilizando un método etnográfico, el cual incluye un exhaustivo trabajo de campo y bibliográfico.

Dentro del material bibliográfico recopilado, se consultaron algunos documentos de los que se extrajeron datos generales del municipio, junto con datos sobre la generación y gestión de residuos en los últimos años, tales como: el Diagnóstico de Residuos Sólidos Urbanos Etzatlán 2015-2018, Programa Municipal de Prevención y Gestión de Residuos Sólidos Urbanos del municipio de Etzatlán (PMPGIRSU 2015-2018), Reglamento para la Gestión Integral de Residuos Sólidos para el municipio de Etzatlán, Jalisco, Plan Municipal de Desarrollo 2004-2006, Ley de Gestión Integral de los Residuos del Estado de Jalisco, Reglamento de la Ley de Gestión Integral de los Residuos del Estado de Jalisco, Diagnóstico del municipio de Etzatlán del Instituto de Información Estadística y Geográfica (IEEG, 2019), Diagnóstico de la región Valles (IEEG, 2018), Reglamento Ambiental Municipal (2016), entre otros.

En lo que concierne al trabajo de campo, se realizó una selección de actores clave con base en el papel que juegan en la ejecución de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos en Etzatlán. Se trabajó con cada uno de los actores haciendo uso de herramientas como entrevistas, encuestas, grupos focales, etc., con la finalidad de recabar información que permitiera dar inicio al componente de Educación Ambiental.

Se entrevistaron a los directores de Aseo Público, Educación, y Ecología y Medio Ambiente; se hicieron encuestas a la población para conocer su percepción en cuanto al manejo de residuos; se compartieron experiencias con el grupo de voluntariado (VOEMA), al cual llamaremos Grupo Promotor Local (GPL); se organizaron grupos focales con la cuadrilla de barrenderos y los trabajadores del servicio de recolección del municipio; y finalmente, se habló con algunos pepenadores y acopiadores para conocer su opinión sobre la propuesta y el trabajo en conjunto.

Posteriormente, con base en las edades, colonias, etapas del proyecto, recursos disponibles y el grado de apoyo de los actores clave, se identificaron cuatro grupos y espacios de mayor importancia para iniciar con el componente de Educación Ambiental en el municipio: 1. cursos de verano, 2. capacitación de actores clave, 3. comunicación y difusión del PMPGIRS y 4. Instituciones educativas.

Una vez identificados los principales grupos y espacios a atender, se definieron la estrategia pedagógica, el enfoque didáctico y el contenido temático, tomando como base el marco teórico anteriormente descrito.

5. Resultados y discusión

A partir del trabajo de campo y bibliográfico realizado, se recabó información importante sobre el funcionamiento de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en Etzatlán, lo cual permitió la creación de una estrategia para el componente de Educación Ambiental. En este apartado se exponen los principales resultados obtenidos en el trabajo de campo junto con las estrategias de intervención, y finalmente se describen las experiencias en los talleres y/o capacitaciones que se llevaron a cabo.

5.1 Resultados del trabajo de campo

En promedio se generan alrededor de 19 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos en Etzatlán, tomando en cuenta los datos obtenidos en el Diagnóstico de Residuos Sólidos Urbanos del municipio [14] y la proyección de la población en el año 2020 del Diagnóstico Municipal de Etzatlán [15], se estima que el 48% de los residuos generados son residuos orgánicos y 29% inorgánicos reciclables, eso significa que el 77% de los residuos generados en el municipio tiene la posibilidad de ser revalorizado.

Se pudieron detectar algunas problemáticas y áreas de oportunidad muy puntuales en el manejo de residuos en el municipio a partir de las herramientas utilizadas, como la observación, las entrevistas, encuestas y grupos focales realizados a los distintos actores. A continuación, se mencionarán algunas:

- El sitio de disposición final (SDF) no cumple con la NOM-083-SEMARNAT-2003.
- No se promueve la separación de residuos y son pocas las personas que hacen algún tipo de separación en casa, esa labor la ejercen principalmente los pepenadores (de calle y del SDF) y algunos recolectores.
- La población no cuenta con una cultura ambiental ni concientización de la problemática en materia de residuos.
- En algunas escuelas se han realizado actividades relacionadas al manejo de residuos (composta, separación de plásticos, talleres de Educación Ambiental, etc.), no obstante, la falta de infraestructura, seguimiento y continuidad ha sido un impedimento para lograr los objetivos que se plantean.
- La capacitación de separación de residuos es insuficiente para toda la población, incluyendo funcionarios municipales.
- Los grandes generadores de residuos no pagan ninguna cuota de recolección y tampoco realizan separación secundaria de residuos.
- Las personas no tienen conocimiento del PMPGIRSU, ni de las actividades que se proponen en éste, por lo tanto, la participación ciudadana en ese ámbito es escasa.
- No se hacía uso de herramientas de comunicación y difusión para dar a conocer la problemática.
- Existe disposición por parte del Grupo Promotor Local para recibir capacitaciones y posteriormente participar en la impartición de talleres y difusión de información en las colonias.
- Hubo buena aceptación por parte de los encargados de los cursos de verano y los directivos de las escuelas para trabajar con ellos; y los trabajadores del servicio de recolección estuvieron de acuerdo con iniciar la recolección separada y recibir una capacitación para hacerlo.

Tomando como referencia las problemáticas y las áreas de oportunidad observadas, fue posible reconocer los grupos y espacios para definir e iniciar la estrategia en el componente ambiental. En total se realizaron 10 talleres y/o capacitaciones (Tabla 1), teniendo un alcance de 413 asistentes, de los cuales 325 fueron

niños de entre 4 y 12 años, 3 funcionarios municipales, 30 estudiantes de preparatoria y 55 adultos que participaron como voluntarios.

Tabla 1. Resumen de actividades de Educación Ambiental en el municipio

Nombre del taller/capacitación	Fecha	Asistentes
La antropología de la basura	02/07/19	21 personas del GPL
Taller de composta	11/07/19	26 personas del GPL
Taller separación de plásticos	11/07/19	26 personas del GPL
Capacitación de educación ambiental para niños y jóvenes	11/07/19	16 personas staff curso de verano Daniel Parra
Taller curso de verano Casa de la Cultura	12/07/19	100 niños
Taller educación ambiental. 2 sesiones curso de verano	17/07/19 23/07/19	200 niños del curso de verano de Daniel Parra
Capacitación habilidades pedagógicas para la educación ambiental. 2 sesiones.	12/08/19 13/08/19	13 personas del GPL
Capacitación unidad de composteo municipal. 2 sesiones	14/08/19 21/08/19	3 funcionarios
Taller de separación de residuos en la Escuela Preparatoria Regional de Etzatlán (EPRE)	28/11/19	30 estudiantes
Taller de educación ambiental y separación de residuos en el grupo de catequesis de la capilla San Felipe	30/11/19	25 niños

5.2 Resultados por componente de educación ambiental

5.2.1 Cursos de verano

Se eligieron como espacios de sensibilización para niños y jóvenes los cursos de verano que realiza Daniel López Parra en la Unidad deportiva, donde se atienden alrededor de 200 niños, así como el curso de verano que realiza la Casa de la Cultura, donde participan alrededor de 100 niños.

Se realizaron dos sesiones de una hora y media cada una con los niños del curso de verano de Daniel y una sesión de una hora y media con los niños de la casa de la cultura, donde se enfatizó en la importancia de la separación de residuos.



Figura. 3 y 4. De izquierda a derecha. Separación de residuos curso verano casa de la cultura. Niños observando imagen del SDF curso verano Daniel Parra.

Las actividades del curso de verano de Daniel López fueron más exitosas que las de la Casa de la Cultura, debido a la previa capacitación del staff. Se impartió un taller con el equipo días previos a las intervenciones, lo cual sirvió para sentar las bases para el desarrollo de las actividades con los niños, y los conocimientos acerca de la problemática ambiental, por ejemplo, el impacto de los desechos en el medio ambiente y la pérdida de servicios ambientales debido a una inadecuada gestión de residuos. Se resalta la importancia en la capacitación de los organizadores para la motivación de los alumnos y la atención de dudas.

Las actividades se hicieron al aire libre, lo cual tiene la ventaja de que el entorno se presta para realizar juegos y dinámicas; esto favoreció el entusiasmo de los participantes y fomentó su sentido de pertenencia al entorno natural. De acuerdo con Alba F. [13], las actividades al aire libre actúan como un rico estímulo para el pensamiento creativo y aprendizaje, brindando oportunidades para el desafío, la investigación, el pensamiento crítico y la reflexión.

5.2.2 Capacitación de actores clave

El Grupo Promotor Local lo conforman alrededor de 25 miembros y aunque no está formalizado como ONG o asociación civil, están interesados en apoyar al municipio en actividades relacionadas a la gestión integral de residuos. Considerando al GPL como parte de los actores clave, por su organización y motivación, se les capacitó junto con algunos funcionarios del ayuntamiento, con el objetivo de recibir una preparación que les brinde las herramientas necesarias para comprender y compartir conocimientos con otros ciudadanos, desde niños hasta adultos mayores.

Su capacitación consistió en 5 talleres de diversas temáticas, entre ellas, la antropología de la basura, elaboración de composta, separación de residuos y habilidades pedagógicas para la educación ambiental.

El Grupo Promotor Local ha participado activamente realizando charlas y talleres con los habitantes de la colonia Los Colonos, y en las otras colonias en las que se ha expandido la ruta de recolección diferenciada, así como en planteles educativos, esto con la finalidad de explicarles el programa, el tipo de separación y la importancia de su participación.



Figura. 5 y 6. De izquierda a derecha. Trabajo en equipo en la capacitación del GPL y taller de separación de residuos en Los Colonos impartido por el GPL.

La estructura de los talleres consistió en cuatro ejes: *pertenezco*, *aprendo*, *reflexiono* y *me comprometo*. En primer lugar, se les hizo ver a los participantes cómo cada uno de ellos es una parte importante del medio ambiente y se les explicó por qué se les convocó. Posteriormente, se explicaron los términos de la separación primaria a través de un juego de práctica: una pirinola en la primera sesión y una ruleta en la segunda y tercera sesión, esto consistía en quitar o poner residuos en la categoría correspondiente (inorgánico, orgánico y sanitario) dependiendo de la indicación dada en el juego. Se utilizó una lona como apoyo visual para enlistar los residuos por categoría y facilitar el aprendizaje de la separación primaria. Para el eje de *reflexiono*, se realizó una actividad para que dimensionaran la cantidad de residuos generada en su familia, colonia y comunidad y finalmente se les compartieron los detalles sobre la recolección diferenciada y el proyecto de composta municipal, extendiéndoles la invitación a participar y comprometerse en la separación de residuos, puesto que el éxito del programa depende de todos.

La respuesta de los asistentes fue buena dado que estuvieron atentos y participaron en todas las actividades. En promedio, asistieron 22 personas por taller, desde niños hasta adultos. Cabe resaltar que dicha respuesta se vio reflejada en el primer día de la recolección separada, ya que al menos el 50% de los hogares entregaron sus residuos separados correctamente. Dicho porcentaje ha ido aumentando con el paso del tiempo.

5.2.3 Comunicación y difusión

Otra herramienta importante para lograr el alcance esperado del Plan de Recolección Separada es la difusión de sus objetivos a través de medios como radiodifusión, perifoneo, redes sociales, y en eventos públicos. Así como la comunicación constante con los habitantes de las colonias donde se expanda la ruta de recolección. Se recomendó informar los avances y mejoras del sitio de composteo y del Sitio de Disposición Final, con el fin de motivar a la comunidad a seguir participando en la separación de residuos.

5.2.4 Planteles educativos

La educación básica es un factor clave para la generación de actitudes, habilidades y compromisos que nos lleven a tomar acciones para cuidar el medio ambiente. Se realizaron encuestas en 14 planteles educativos para conocer las escuelas que realizan actividades de educación ambiental, si llevan a cabo separación de residuos, si tienen un registro o si existe un comité que dé seguimiento a las acciones. Se obtuvo que 14 planteles ya realizan separación de residuos y que 13 están dispuestos a implementar acciones de acopio de reciclables. Por lo que se considera que sí hay esfuerzos por capacitar y promover una nueva cultura ambiental en el manejo de residuos. Sin embargo, los esfuerzos no están articulados y hay una oportunidad para reforzarlos.

En la primera etapa, de agosto a diciembre de 2019, se realizaron talleres de educación ambiental en las escuelas que se encuentran en la ruta piloto de recolección separada, es decir, en Los Colonos. Se espera que a medida que se amplíe la ruta de recolección, el GPL pueda continuar impartiendo talleres en las escuelas que se encuentren dentro de las colonias donde se realizará la separación.

Se sugiere que los grados escolares más altos también sean multiplicadores de la información y funjan el papel de promotores ambientales con los grados más pequeños. De esta manera, los estudiantes reforzarán sus conocimientos al tener que instruir a otras personas, a la vez que se propaga el aprendizaje de manera más ágil y eficiente.



Figura. 7. Taller de separación de residuos en la Preparatoria Regional de Etzatlán

A mediano y largo plazo se recomienda que se incorpore un programa de educación ambiental que articule diversas actividades con el programa de estudios de los planteles educativos con el fin de que *se formalice la educación ambiental*.

6. Conclusiones

La estrategia de educación ambiental se diseñó de manera más precisa y adecuada al contexto gracias al diagnóstico previo realizado, en el cual se identificaron las principales fortalezas y áreas de oportunidad a trabajar. En total se realizaron 10 intervenciones, teniendo un alcance de 413 asistentes, de los cuáles, tres cuartas partes fueron niños de entre 4 y 12 años, debido al alcance obtenido en los cursos de verano, el resto de los participantes corresponde a funcionarios, estudiantes de preparatoria y adultos que fueron capacitados para ser promotores ambientales.

Esta experiencia es un claro ejemplo de la *educación ambiental proyectada hacia la comunidad*, donde el factor clave para solucionar problemas medioambientales locales son las actividades voluntarias y el cambio de políticas municipales.

La aceptación del programa y el cumplimiento de los objetivos del PMPGIRSU en materia de recolección diferenciada y separación de residuos se debe en parte, a las actividades de educación ambiental y a la participación e interés de distintos actores sociales, entre ellos, funcionarios públicos, el GPL, estudiantes y directores de escuelas. Los integrantes del Grupo Promotor Local, al desempeñarse como educadores ambientales, juegan un papel fundamental en la promoción de la educación y cultura ambiental. Al ser habitantes de la localidad, se facilita la comprensión de la dinámica social y la transmisión de actitudes y valores como la empatía, motivación, respeto y responsabilidad, los cuales propician una participación ciudadana más activa.

Las actividades de educación ambiental realizadas, el empoderamiento del GPL y la participación ciudadana han sido fundamentales para lograr los objetivos del PMPGIRSU relacionados con la recolección diferenciada, la separación de residuos y la revalorización del componente orgánico.

Se puede concluir que el componente de Educación Ambiental es crucial para impulsar el PMPGIRSU; puesto que las actividades se diseñaron con la finalidad de transmitir conocimientos para la comprensión de la problemática ambiental utilizando un enfoque combinado, promover la participación desde un contexto local hacia uno global y desarrollar actitudes y valores que fomenten el *compromiso social*.

Es importante darles continuidad a las acciones de educación ambiental no formal, por un lado, vinculando las festividades anuales de la Dirección de Cultura y Turismo con eventos de educación ambiental y por otro, fortaleciendo la EA en los cursos de verano, ampliando las intervenciones y abordando distintas temáticas que promuevan la adopción de actitudes y valores para el cuidado del entorno, no únicamente para la separación de residuos.

La educación ambiental formal y no formal forman parte de un mismo sistema de pensamiento y acción, en el que los avances de una influyen y realimentan los avances de la otra. Es por esto, que resulta valiosa y crucial la formalización de la educación ambiental en centros escolares, para lo cual se requiere una adecuada planificación y estructura que comprenda desde la educación básica, hasta la media superior, siendo necesaria la disposición y el apoyo de la Secretaría de Educación, de los profesores y directivos de las escuelas, para articular la EA de manera transversal en el currículo.

Es preciso tener un seguimiento cercano y darle continuidad al programa. Se sugiere realizar reuniones mensuales con los distintos actores, donde se puedan compartir experiencias y hacer una retroalimentación en conjunto para identificar áreas de oportunidad y definir estrategias que eficienten la forma de trabajo siendo lo más colaborativa posible. Se propone realizar capacitaciones de actualización con el GPL, por lo menos una vez al bimestre, donde se les brinde información que fortalezca su formación como educadores ambientales.

Agradecimientos

Agradecemos al Consorcio de Investigación y Diálogo sobre Gobierno Local (CIDIGLO) como parte del Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS), y al proyecto FORDECYT "Desarrollo y operación del Consorcio de Investigación y Diálogo sobre Gobierno Local" (296352) por el apoyo para realizar esta investigación.

Referencias Bibliográficas

- [1] Dirección de Medio Ambiente, H. Ayuntamiento de Etzatlán. (2020). *Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos 2018-2021*. Etzatlán, Jalisco.
- [2] Vega Marcote, P., Freitas, M., Álvarez Suárez, P., & Fleuri, R. (2007). Marco teórico y metodológico de educación ambiental e intercultural para un desarrollo sostenible. *Eureka, Educación Científica y Sostenibilidad*, 539-554.
- [3] Maldonado Salazar, T. (2009). Educación ambiental para la sustentabilidad. *Horizonte sanitario*, 8 (2), 4-7.
- [4] Álvarez, P., & Vega, P. (2009). Actitudes ambientales y conductas sostenibles. Implicaciones para la educación ambiental. *Revista de Psicodidáctica*, 245-260.
- [5] Andrews, E., Stevens, M., & Wise, G. (2002). A model of community-based environmental education. *The National Academies Press*, 161-182. Obtenido de <http://nap.edu/10401>

- [6] Espejel Rodríguez, M. M. (2007). Problemas ambientales, procedimiento metodológico, acciones de mitigación en Tlaxcala. *XXVI Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. Asociación Latinoamericana de Sociología*.
- [7] Pulido Capurro, V., & Olivera, C. E. (2018). Aportes pedagógicos a la educación ambiental: una perspectiva teórica. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20 (3), 333-346.
- [8] Sauvé, L. (2005). Currents in Environmental Education: Mapping a Complex and Evolving Pedagogical Field. *Canadian Journal of Environmental Education*, 10, 12-37.
- [9] Valera, S. y Pol, E. (1994). El concepto de identidad social urbana: una aproximación entre la Psicología Social y la Psicología Ambiental. *Anuario de Psicología*, 62, 5-24.
- [10] Kudryavtsev, A. (2013). *Urban Environmental Education and Sense of Place* (Tesis doctoral). Recuperada de <https://ecommons.cornell.edu>
- [11] Novo, M. (1996). La Educación Ambiental formal y no formal: dos sistemas complementarios. *Revista Iberoamericana de Educación*, 11, 75-212.
- [12] Tréllez Solís, E. (2003). *Educación ambiental y conservación de la biodiversidad en el desarrollo comunitario*. Centro de Estudios para el Desarrollo (CED). Santiago de Chile.
- [13] Alba, F. (s/f). *Outdoor Learning. Practical guidance, ideas and support for teachers and practitioners in Scotland*. Education Scotland.
- [14] H. Ayuntamiento de Etzatlán 2015-2018. (2015). *Diagnóstico de Residuos Sólidos Urbanos de Etzatlán*. Etzatlán, Jalisco.
- [15] Instituto de Información Estadística y Geográfica. (2018). Etzatlán Diagnóstico de la Región agosto 2019. Plataforma del Instituto de Información Estadística y Geográfica. En línea <<https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/09/Etzatlan.pdf>> Recuperado el 11/06/2020.

Relación de la calidad ambiental y la presencia de residuos sólidos y microplásticos en cinco playas mexicanas

¹Arely Areanely Cruz Salas, ¹Alethia Vázquez Morillas, ²Juan Carlos Alvarez Zeferino, ²Sara Ojeda Benítez, ¹Margarita Beltrán Villavicencio, ²Samantha Eugenia Cruz Sotelo

¹ Universidad Autónoma Metropolitana, Av. San Pablo No. 180 Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200 Alcaldía Azcapotzalco Ciudad de México, México. al2173803384@azc.uam.mx. Teléfono: 5553189000 Ext. 2196 o 2273

² Universidad Autónoma de Baja California

Resumen

Los residuos sólidos y microplásticos en playas constituyen una problemática ambiental a nivel mundial: además de generar contaminación, afectan la calidad ambiental en cuanto a limpieza y correcta gestión de residuos. En este estudio se evaluó la presencia de residuos sólidos y microplásticos, así como la calidad ambiental en cinco playas mexicanas (La Barra, Playa Grande, Zipolite, San Agustín y La Misión) con el objetivo de analizar la relación entre ellos. Los muestreos de ambos residuos se realizaron en sábado y domingo sobre un transecto de 100 m paralelo a la línea pleamar. Tanto microplásticos como residuos estuvieron presentes ambos días en todas las playas. La Misión presentó las mayores concentraciones de microplásticos y residuos sólidos (35.3 – 1,657 MP/m² y 6.16 – 8.46 piezas/m², respectivamente), mientras que Playa Grande presentó las menores concentraciones de microplásticos (0 – 211 MP/m²) y Zipolite las menores concentraciones de residuos (0.26 – 0.78 35.3 – 1,340 piezas/m²). De todos los indicadores evaluados se encontró que el potencial recreativo y la gestión de residuos tuvieron los mismos niveles en cada playa, lo cual sugiere que las actividades de limpieza en una playa están influenciadas por la baja o alta afluencia turística. En cuanto a la relación entre indicadores, residuos sólidos y microplásticos, se encontró que a medida que la urbanización aumenta, las concentraciones de ambos residuos y el índice de contaminación disminuyen. Se recomienda realizar el estudio en más playas y en diferentes temporadas con la finalidad de conocer si las relaciones encontradas se mantienen igual o cambian.

Palabras Clave: Contaminación, plástico, pellets, indicadores, certificación

1. Introducción

Las playas son ambientes muy dinámicos y sensibles tanto a cambios naturales como antropogénicos debido a la interacción que hay entre aire, agua y suelo. Son importantes por los diversos servicios ambientales que proveen y porque satisfacen necesidades humanas [1]. No obstante, al igual que otros ecosistemas, enfrentan diversas problemáticas tales como erosión, contaminación, y alta demanda turística la cual trae consigo el uso intensivo de la playa, desarrollo de infraestructura, urbanización de la costa, presencia de residuos sólidos y pérdida del paisaje [2]–[4].

Los residuos sólidos son un problema grave de contaminación persistente que no sólo se encuentra en las playas sino que se extiende en todo el océano [5]. Estos residuos incluyen materiales sólidos manufacturados que terminan desechados o abandonados en los mares o costas, resultado de las actividades terrestres o marinas [6]. De los residuos que anualmente ingresan al océano se ha estimado que entre el 60 y 80% corresponde a plásticos [7]–[9], éstos pueden ingresar al medio marino por una gestión inadecuada de residuos, derrames accidentales o intencionales, residuos mal dispuestos en la costa o en el mar o por la escorrentía de aguas pluviales [10].

El problema con los residuos plásticos es que al estar expuestos a la intemperie pueden fragmentarse, ya sea por fotodegradación, oxidación o esfuerzos mecánicos, en piezas cada vez más pequeñas [11], [12]. Los fragmentos de plástico menores a 5 mm se denominan microplásticos (MP) y actualmente se les considera contaminantes emergentes que están presentes en todos los compartimentos ambientales [13], principalmente en aquellas regiones costeras con actividades recreativas de alta intensidad [14].

Además de lo mencionado, se debe resaltar que los ingresos económicos de la mayoría de las ciudades costeras dependen del turismo de playa, por lo que se vuelve indispensable evaluar la calidad ambiental de estos entornos, así como su estado de conservación [15], [16]. También es importante mencionar que los turistas exigen con mayor frecuencia que los destinos de playa cumplan con aspectos ecológicos y de sostenibilidad, esto ha convertido a lo ambiental en un aspecto clave para ganar competitividad en los destinos turísticos [1].

La calidad ambiental se centra en el valor asignado al ambiente en una situación y momento específicos, mediante variables ambientales que inciden en la calidad de vida presente y futura, así como en el monitoreo y control. Incluye la planificación, organización, dirección y control de sus recursos para el desarrollo adecuado de sus actividades, conservación de las playas y satisfacción de necesidades y expectativas [1]. Aun cuando los aspectos turísticos son parte de los objetivos de la calidad ambiental, estos no son los únicos, incluye otros de tal modo que ésta sea integral [17]. Así pues, la calidad ambiental contempla seguridad de los usuarios, percepción estética, limpieza y gestión de los residuos, salud ecosistémica y manejo de la playa en general [1].

Algunos de los instrumentos empleados para evaluar la calidad ambiental de forma son las certificaciones [1] o indicadores [18]–[21]. Sin embargo, son voluntarios y tienen la finalidad de promover la incorporación de productos y servicios que cumplan con criterios ecológicos a partir del seguimiento de indicadores ambientales y de la adopción de buenas prácticas [1]. Debido a lo anterior se realizó la presente investigación, cuyo objetivo fue evaluar la presencia de residuos sólidos y microplásticos en cinco playas mexicanas y analizar su relación con la calidad ambiental.

2. Metodología

La metodología empleada en esta investigación se dividió en cuatro etapas. En la primera, se seleccionaron los indicadores y parámetros de estos, posteriormente se seleccionaron las playas y zonas de estudio con base en algunos criterios, en la tercera etapa se presenta el procedimiento empleado tanto para el muestreo de MP, como de residuos, en la última etapa se presenta como se realizó la evaluación de los indicadores.

2.1 Selección de indicadores

Para la selección de indicadores se realizó una revisión bibliográfica de diversos estudios en los que se había evaluado la calidad ambiental en playas mediante indicadores [16], [18]–[24]. A partir de estos estudios se seleccionaron los indicadores así como los parámetros evaluados en cada uno. Posteriormente se estableció el puntaje para cada parámetro y se eligieron los diferentes niveles para cada indicador, con base en el puntaje máximo (Tabla 1).

Tabla 1. Escala de niveles de evaluación para cada indicador

Urbanización	Conservación	Potencial recreativo	Gestión de residuos
0 = nulo	0 = nulo	0 = nulo	0 = nulo
1-3 = muy bajo	1-3 = muy bajo	1-4 = muy bajo	1-5 = muy bajo
4-6 = bajo	4-6 = bajo	5-8 = bajo	6-10 = bajo
7-10 = medio	7-9 = medio	9-13 = medio	11-16 = medio
11-14 = alto	10-13 = alto	14-18 = alto	17-22 = alto

2.2 Selección de playas zonas de estudio

Los criterios de inclusión para la selección de playas fueron los siguientes: playas turísticas, de sedimentos de arena, longitud mínima de 100 m, de fácil acceso y seguras. Las playas seleccionadas fueron La Barra de Sontecomapan, Veracruz; Playa Grande, Quintana Roo; Zipolite, Oaxaca; San Agustínillo, Oaxaca y La Misión, Baja California (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica de las playas de estudio

Por otro lado, para la selección de la zona de muestreo en cada playa se buscó que la línea pleamar estuviera bien definida y que hubiera ausencia de infraestructura firme (por ejemplo palapas, sillas, mesas y camastros).

2.3 Muestreo de microplásticos y residuos

Los muestreos se llevaron a cabo en 2018, sábado y domingo, alrededor de las 7:00 a.m. con la finalidad de evitar alteración en la zona de muestreo debido a la presencia de actividades turístico-recreativas. La zona de playa fue la misma para los muestreos de ambos días.

En cuanto a microplásticos, se delimitó (con ayuda de una cuerda) un transecto de 100 m paralelo a la línea pleamar. Posteriormente se seleccionaron 10 puntos de manera aleatoria, que se ubicaron sobre la línea pleamar, en cada punto se enterró el muestreador para extraer la muestra de arena, la cual se almacenó en papel aluminio. Las extracciones de MP se llevaron a cabo mediante un proceso secuencial

de tamizado y pruebas de flotación. Finalmente los MP se clasificaron por tamaño, tipo (fragmento, película, pellets, fibras y espumado), polímero y color [25].

Por otra parte, para el muestreo de residuos el transecto de 100 m se dividió en 20 secciones de 5 m cada una las cuales se numeró de izquierda a derecha [26]. El ancho de playa se consideró desde la línea de agua hasta el área con presencia de dunas, vegetación o infraestructura fija. Se eligieron aleatoriamente cinco secciones y en ellas se recolectaron todos los residuos presentes (mayores a 5 mm).

Los residuos se clasificaron en diferentes categorías, con base en el listado de materiales propuestos por la UNEP [27]. Se contó el número de piezas recolectadas en cada categoría y se determinó el índice de contaminación (IC) promedio mediante la ecuación 1.

$$IC = \frac{\#Piezas}{\#Secciones \times L \times A} * 20 \quad (1)$$

Donde:

#Piezas = Total de piezas recolectadas

#Secciones = Total de secciones muestreadas

L = Longitud de cada sección (m) = 5 m

A = Ancho de playa (m)

Con los resultados del IC obtenidos se clasificaron las playas dentro de los siguientes los cinco grupos [28]:

0–1: Muy limpia (ML) — No se observan residuos

1–2: Limpia (L) — No se observan residuos en un área grande

2–3: Moderada (M) — Se observan algunos residuos

3–4: Sucia (S) — Presencia de muchos residuos

>4: Muy sucia (MS) — La mayor parte de la playa está cubierta con residuos

2.4 Evaluación de indicadores

La información de las playas de estudio se obtuvo de fuentes gubernamentales y de los recorridos de campo llevados a cabo en cada muestreo. La información obtenida se registró en una ficha de elaboración propia la cual se encontraba organizada en las diversas categorías de indicadores. De acuerdo con la información recopilada se evaluaron los parámetros de cada indicador y se calculó el nivel al que pertenecía.

2.5 Regresiones lineales

Se realizaron regresiones lineales entre los resultados de MP, plásticos, residuos (totales), indicadores e IC obtenidos de cada playa, correspondientes al sábado, con la finalidad de identificar las posibles correlaciones entre ellos. Se emplearon unidades de piezas para residuos totales, residuos plásticos y microplásticos, para los indicadores se utilizó el puntaje total de cada categoría y para el índice de contaminación se empleó piezas/m². Se analizaron los gráficos obtenidos, así como el valor del coeficiente de determinación (R²) para establecer si existía o no una correlación y de que tipo.

3. Resultados y discusión

En esta sección, se presentan los resultados y la discusión, los cuales se encuentran divididos en cuatro apartados. El primero, aborda la presencia de microplásticos; el segundo, la presencia de residuos sólidos encontrados en las diversas playas de estudio; el tercero, hace referencia a los indicadores de calidad ambiental y el último, presenta la relación que se encontró entre los dos tipos de residuos y los indicadores.

3.1 Presencia de microplásticos

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las concentraciones de MP encontradas tanto por playa como por día en términos de MP/m². Los MP estuvieron presentes en ambos días de muestreo para todas las playas. La playa con las concentraciones más altas fue La Misión con un intervalo de 35.3 – 1,340 MP/m² para el sábado y 141 – 1,657 MP/m² para el domingo, mientras que la playa que presentó las menores concentraciones fue Playa Grande (0 – 211 MP/m² en viernes y 0 - 70 MP/m² en sábado).

Aunado a lo anterior, se aprecia que las concentraciones presentan coeficientes de variación elevados con porcentajes que van desde 36.8% (San Agustinillo en sábado) hasta 230.2% (Zipolite en sábado). Esto probablemente se deba a la ausencia o poca homogeneidad de la línea pleamar, pues, los residuos ahí presentes son resultado de lo que depositan las corrientes marinas y por lo tanto, no se distribuyen de la misma manera a lo largo de la zona.

Tabla 2. Valores estadísticos por playa en términos de MP/m²

Playa	Día	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	% de varianza
La Barra de Sontecomapan	Sábado	0	317.4	119.9	123.4	100.0	83.4
	Domingo	0	211.6	98.8	105.8	68.2	69.0
Playa Grande	Viernes	0	211.6	67.0	52.9	63.2	94.3
	Sábado	0	70.5	14.1	0	24.7	174.8
Zipolite	Sábado	0	670.1	91.7	0	211.1	230.2
	Domingo	0	176.4	42.3	17.6	57.1	134.9
San Agustinillo	Sábado	0	176.4	134.0	158.7	49.3	36.8
	Domingo	0	493.8	148.1	105.8	136.9	92.4
La Misión	Sábado	35.3	1,340.2	331.5	176.4	394.6	119.0
	Domingo	141.1	1,657.7	708.9	634.9	547.8	77.3

En cuanto a las características de los MP en la Figura 2a se muestra la clasificación por tamaño, se aprecia que la mayoría de los MP presentó un tamaño de entre 1.00 y 2.00 mm (de 13% en Playa Grande hasta 89% en Zipolite), excepto en Playa Grande donde el tamaño más común fue de 4.01-5.00 mm. Lo anterior sugiere que entre más pequeño sea el MP los plásticos más grandes han estado expuestos a la intemperie por tiempo prolongado hasta dar lugar a piezas cada vez más pequeñas.

En el tipo de MP (Figura 2b), se encontró que los más comunes para La Barra, Playa Grande y La Misión fueron los fragmentos con 66%, 52% y 32%, respectivamente, mientras que en Zipolite y San Agustinillo las fibras fueron las más recurrentes con 86 y 55%, respectivamente. Estos tipos de MP coinciden con lo reportado por Alvarez-Zeferino et al., 2020 [29] quienes realizaron un estudio de MP en 33 playas

mexicanas de arena y encontraron que los fragmentos y las fibras fueron dos de los tres tipos más comunes de MP.

Por otra parte, el tipo de MP se puede asociar a su fuente, en este caso para los fragmentos se tiene la conjetura de que son resultado de la degradación de plásticos rígidos o semirrígidos más grandes, mientras que las fibras, debido a sus dimensiones, probablemente provienen de la descarga de aguas residuales.

El color más común de los MP (Figura 2c) fue el blanco para La Barra, Playa Grande y La Misión con proporciones de 61%, 39% y 91%, respectivamente, en cambio para Zipolite y San Agustínillo el azul fue el color más abundante (53% y 49%, respectivamente). Finalmente en la clasificación por polímero (Figura 2d) se encontró que en todas las playas el EPS (poliestireno expandido) fue el más frecuente, con proporciones desde 40% en Playa Grande hasta 60% en Zipolite.

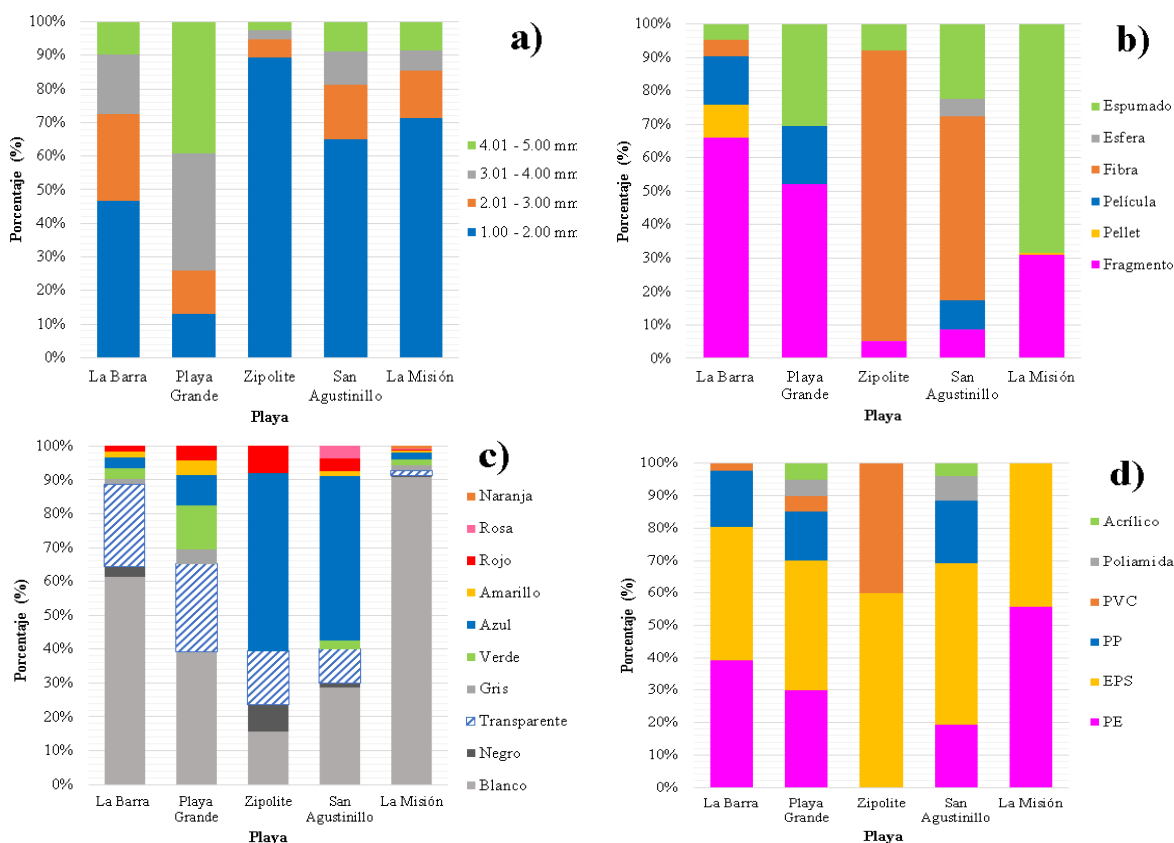


Figura. 2. Clasificación de los MP: a) tamaño, b) tipo, c) color y d) polímero (suma de piezas de ambos días)

3.2 Presencia de residuos

En todas las playas hubo presencia de residuos en ambos días de muestreo (Tabla 3), sin embargo, la playa con mayores concentraciones fue La Misión con 6.16 piezas/m² en sábado y 8.46 piezas/m² en domingo. Por otro lado, la playa con las menores concentraciones de residuos fue Zipolite con 0.26 piezas/m² en sábado y 0.78 piezas/m².

Tabla 3. Concentraciones de residuos por playa y por día

Playa	Día	Piezas	Piezas/m ²
La Barra de Sontecomapan	Sábado	280	5.37
	Domingo	244	4.68
Playa Grande	Viernes	54	2.47
	Sábado	72	3.29
Zipolite	Sábado	8	0.26
Zipolite	Domingo	24	0.78
San Agustinillo	Sábado	57	0.79
	Domingo	95	1.31
La Misión	Sábado	1015	6.16
	Domingo	1394	8.46

Con los datos obtenidos del primer día de muestreo se calculó el IC (Tabla 4), sólo se tomaron estos datos, porque se parte del supuesto que el muestreo no presenta sesgo, ya que las secciones elegidas no habían sido muestreadas anteriormente, es decir, que todos los residuos ahí presentes eran resultado de lo generado en días anteriores. En cambio, en el segundo día de muestreo en algunas playas hubo secciones que fueron muestreadas ese día pero no el primer día, debido a que la selección se hizo de manera aleatoria, por lo que no se sabe que cantidad de residuos correspondió a lo generado antes del primer día y que cantidad de residuos correspondió a lo generado durante el primer día de muestreo.

A partir de los resultados del IC se distinguen tres grupos de playas, el primero integrado por Zipolite y San Agustinillo las cuales se clasificaron como playas muy limpias. El segundo grupo incluye a Playa Grande la cual se ubicó en la categoría de playa Limpia. Por último, se tiene al grupo de playas muy sucias, en el cual se encuentran La Barra y La Misión, esta última presentó mayor número de piezas (1015 piezas) que La Barra (280 piezas).

Tabla 4. Índice de contaminación por playa

Playa	IC	Clasificación de la playa
La Barra de Sontecomapan	4.3	Muy sucia
Playa Grande	1.97	Limpia
Zipolite	0.21	Muy limpia
San Agustinillo	0.63	Muy limpia
La Misión	4.93	Muy sucia

Finalmente con relación a la clasificación de los residuos, en la Figura 3 se observa que los más comunes fueron plásticos rígidos y semirrígidos (con una proporción mínima de 28% en Zipolite y una proporción máxima de 84% en La Barra), excepto en Playa Grande donde los más recurrentes fueron las colillas con una proporción de 30%. La presencia de plásticos se asocia a que estos materiales están presentes en diversos productos de uso cotidiano, los cuales al provenir de las actividades terrestres y al ser mal gestionados terminan en las playas u otros entornos [30]. Aunado a lo anterior, los residuos plásticos también pueden ser resultado de las envolturas o contenedores de alimentos, botanas o bebidas que el comercio detallista vende o que los mismos visitantes llevan.

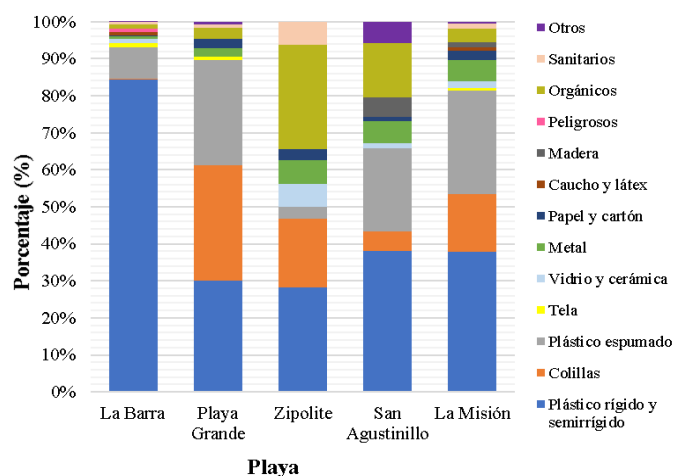


Figura. 3. Clasificación de los residuos sólidos (suma de piezas de ambos días)

3.3 Indicadores de calidad ambiental

En la Tabla 5 se presentan los resultados de los niveles de cada indicador para cada playa. En urbanización se observa que todas las playas obtuvieron un nivel medio, pero en el resto de los indicadores hubo diferencias entre cada playa. Por ejemplo, en conservación los niveles encontrados fueron bajo y medio, mientras que en potencial recreativo en La Barra (nivel muy bajo) y en San Agustinillo (nivel bajo) se aprecia que este no ha sido muy explotado como en el resto de las playas (nivel medio).

El bajo potencial recreativo en La Barra probablemente sea porque una parte del camino es terracería por lo que no todos los carros particulares pueden entrar, además, debido a que la población es pequeña el transporte público no es muy frecuente y por lo tanto tiene un costo elevado. Por su parte, San Agustinillo tal vez no sea muy visitado ya que se encuentra entre dos playas muy conocidas que quizás para los turistas sean más atractivas, Zipolite que es una playa nudista y Mazunte cuya localidad tiene el mismo nombre y pertenece al programa de pueblos mágicos.

Por su parte en la gestión de residuos, cada playa obtuvo el mismo nivel que en el potencial recreativo. Estos indicadores están relacionados entre sí, ya que, si el potencial recreativo en una playa es alto, las actividades de limpieza también serán altas pues con esto se evitará la contaminación por residuos y se logrará un aspecto de playa limpia para seguir atrayendo al turismo y así tener más ingresos económicos.

Tabla 5. Resultados de los niveles de indicadores para cada playa

Indicador	Playa				
	La Barra	Playa Grande	Zipolite	San Agustinillo	La Misión
Urbanización	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
Conservación	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Bajo
Potencial recreativo	Muy bajo	Medio	Medio	Bajo	Medio
Gestión de residuos	Muy bajo	Medio	Medio	Bajo	Medio

3.4 Relación entre microplásticos, residuos e indicadores

Se encontraron cinco regresiones lineales relevantes (Figura 4). Las correlaciones de plásticos versus microplásticos (diagrama a) y residuos versus IC (diagrama b) muestran una relación lineal positiva; de éstas la primera presentó el coeficiente de determinación más alto ($R^2 = 0.8754$). Tales asociaciones indican, en el primer caso, que la presencia de MP en las playas podría verse afectada por la presencia de residuos plásticos los cuales al estar expuestos a la intemperie y experimentar degradación podrían originar MP. En el segundo caso esta asociación indica que el índice de contaminación en una playa depende en parte de la cantidad de residuos presentes, no obstante, también debe tomarse en cuenta el ancho de playa.

En cuanto al resto de las correlaciones (diagramas c, d y e), estas son inversas a las anteriores e indican que a medida que las playas tienen mayor nivel de urbanización la concentración de MP y residuos, así como el IC, son menores. Esto probablemente se deba a que una playa localizada en zona urbana cuenta con la infraestructura necesaria para satisfacer altas demandas de turismo y por lo tanto las actividades de limpieza son frecuentes con el objetivo de mantener la zona libre de residuos y así brindar un aspecto agradable y apto para el turismo y la recreación, lo cual al final genera un incremento en los ingresos económicos de los servicios ofrecidos a los visitantes.

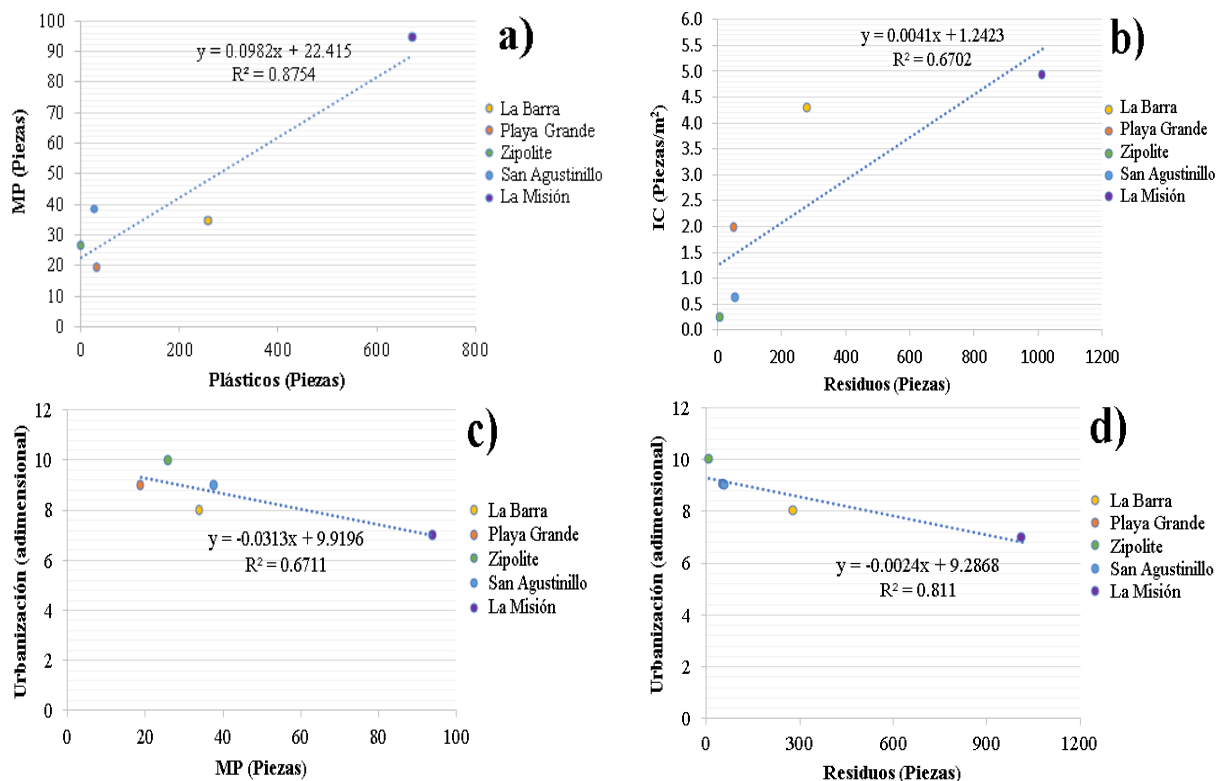


Figura 4. Regresiones lineales: a) plásticos vs MP, b) residuos vs IC c) MP vs urbanización, d) residuos vs urbanización y e) IC vs urbanización

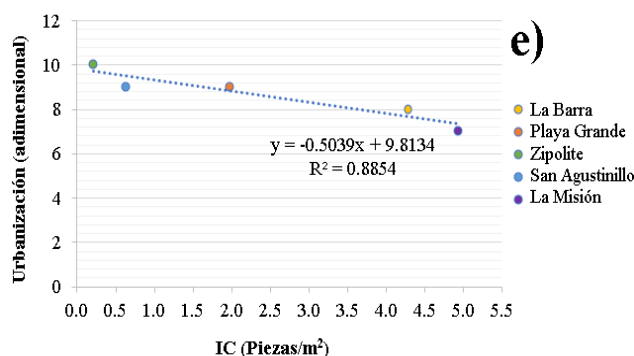


Figura. 4. Continuación. Regresiones lineales: a) plásticos vs MP, b) residuos vs IC c) MP vs urbanización, d) residuos vs urbanización y e) IC vs urbanización

4. Conclusiones

La presencia de residuos sólidos y microplásticos es una problemática a nivel mundial, que además de generar contaminación disminuye la calidad ambiental de estos entornos, por lo que se vuelve indispensable evaluar la calidad ambiental, mediante instrumentos que contemplen la limpieza y gestión de residuos.

En este estudio se evaluó la presencia de residuos sólidos y microplásticos y calidad ambiental en cinco playas mexicanas con el objetivo de conocer la relación que había entre ellos. A partir de los resultados se encontró que los residuos plásticos y microplásticos presentaron una relación lineal positiva, la cual sugiere que la presencia de microplásticos podría verse influenciada por la presencia de plásticos que al degradarse dan lugar a microplásticos. Por otro lado, también se encontró que entre el indicador de urbanización y microplásticos, residuos e índice de contaminación existe una correlación inversa la cual indica que a mayor nivel urbanización en una playa hay menor concentración de ambos residuos y menor índice de contaminación.

Este es el primer estudio que evalúa la relación que hay entre microplásticos, residuos e indicadores de calidad ambiental en playas mexicanas, no obstante, se sugiere realizar el estudio en más playas y en diferentes temporadas con el fin de conocer si las relaciones aquí obtenidas se mantienen de la misma manera o cambian ya que probablemente estas dependerán tanto de las características de cada playa como de la estación de muestreo.

Referencias Bibliográficas

- [1] UNMP - Universidad Nacional del Mar de Plata, "Las playas y su gestión sostenible," 2016. [Online]. Available: <https://eco.mdp.edu.ar/institucional/eco-enlaces/1851-las-playas-y-su-gestion-sostenible>. [Accessed: 28-Jan-2018].
- [2] A. C. INECOL - Instituto de Ecología, "¿Para qué sirve tener plantas en la playa?," 2018. [Online]. Available: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2017-06-26-16-35-48/17-ciencia-hoy/630-para-que-sirve-tener-plantas-en-la-playa>. [Accessed: 28-Oct-2018].
- [3] EPA - Environmental Protection Agency, "What Affects Beach Health," 2018. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/beaches/learn-what-affects-beach-health>. [Accessed: 31-May-2020].
- [4] S. A. González and G. Holtmann-Ahumada, "Quality of tourist beaches of northern Chile: A first approach for ecosystem-based management," *Ocean Coast. Manag.*, vol. 137, pp. 154–164, Mar. 2017.

- [5] NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, "Ocean pollution," 2018. [Online]. Available: <http://www.noaa.gov/resource-collections/ocean-pollution>. [Accessed: 23-Jun-2018].
- [6] NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration & UNEP - United Nations Environment Programme, "The Honolulu Strategy: A global framework for prevention and management of marine debris," 2011.
- [7] R. Beiras, "Plastics and Other Solid Wastes," *Mar. Pollut.*, pp. 69–88, Jan. 2018.
- [8] J. G. . Derraik, "The pollution of the marine environment by plastic debris: a review," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 44, no. 9, pp. 842–852, Sep. 2002.
- [9] T. R. Walker, J. Grant, and M.-C. Archambault, "Accumulation of Marine Debris on an Intertidal Beach in an Urban Park (Halifax Harbour, Nova Scotia)," *Water Qual. Res. J.*, vol. 41, no. 3, pp. 256–262, Aug. 2006.
- [10] NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, "Plastics," 2020. [Online]. Available: <https://marinedebris.noaa.gov/info/plastic.html>. [Accessed: 23-Jun-2018].
- [11] A. L. Andrady, "The plastic in microplastics: A review," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 119, no. 1, pp. 12–22, Jun. 2017.
- [12] N. Sagawa, K. Kawaai, and H. Hinata, "Abundance and size of microplastics in a coastal sea: Comparison among bottom sediment, beach sediment, and surface water," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 133, pp. 532–542, Aug. 2018.
- [13] T. Bosker, L. Guaita, and P. Behrens, "Microplastic pollution on Caribbean beaches in the Lesser Antilles," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 133, pp. 442–447, Aug. 2018.
- [14] Q. Zhou *et al.*, "The distribution and morphology of microplastics in coastal soils adjacent to the Bohai Sea and the Yellow Sea," *Geoderma*, vol. 322, pp. 201–208, Jul. 2018.
- [15] E. B. Barbier, S. D. Hacker, C. Kennedy, E. W. Koch, A. C. Stier, and B. R. Silliman, "The value of estuarine and coastal ecosystem services," *Ecol. Monogr.*, vol. 81, no. 2, pp. 169–193, May 2011.
- [16] M. C. Suciú, D. C. Tavares, L. L. Costa, M. C. L. Silva, and I. R. Zalmon, "Evaluation of environmental quality of sandy beaches in southeastern Brazil," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 119, no. 2, pp. 133–142, Jun. 2017.
- [17] V. Yepes, "Ordenación y gestión del territorio turístico. Las playas," in *Ordenación y gestión del territorio turístico*, Valencia, España: Tirant lo Blanch, 2002, pp. 549–579.
- [18] G. Anfuso, A. T. Williams, J. A. Cabrera Hernández, and E. Pranzini, "Coastal scenic assessment and tourism management in western Cuba," *Tour. Manag.*, vol. 42, pp. 307–320, Jun. 2014.
- [19] G. García, "Evaluación del potencial turístico en la playa Norte de El Mogote, bahía de La Paz, B.C.S, México," Instituto Politecnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B. C. S., México, 2012.
- [20] N. Rangel-Buitrago, A. Williams, and G. Anfuso, "Killing the goose with the golden eggs: Litter effects on scenic quality of the Caribbean coast of Colombia," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 127, pp. 22–38, Feb. 2018.
- [21] R. Santiago, "Caracterización de las playas de Tuxpan, Veracruz mediante criterios de certificación," 2010.
- [22] O. Cervantes and I. Espejel, "Design of an integrated evaluation index for recreational beaches," *Ocean Coast. Manag.*, vol. 51, no. 5, pp. 410–419, Jan. 2008.

- [23] S. A. González, K. Yáñez-Navea, and M. Muñoz, “Effect of coastal urbanization on sandy beach coleoptera *Phaleria maculata* (Kulzer, 1959) in northern Chile,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 83, no. 1, pp. 265–274, Jun. 2014.
- [24] F. E. Marshall, K. Banks, and G. S. Cook, “Ecosystem indicators for Southeast Florida beaches,” *Ecol. Indic.*, vol. 44, pp. 81–91, Sep. 2014.
- [25] J. C. Alvarez-Zeferino, A. A. Cruz-Salas, A. Vázquez-Morillas, and S. Ojeda-Benitez, “METHOD FOR QUANTIFYING AND CHARACTERIZATION OF MICROPLASTICS IN SAND BEACHES,” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 36, no. 1, pp. 151–164, Jan. 2020.
- [26] S. Opfer, C. Arthur, and S. Lippiatt, “NOAA Marine Debris Shoreline Survey Field Guide,” 2012.
- [27] A. Cheshire *et al.*, “UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter,” Nairobi, Kenia, 2009.
- [28] R. Alkalay, G. Pasternak, and A. Zask, “Clean-coast index—A new approach for beach cleanliness assessment,” *Ocean Coast. Manag.*, vol. 50, no. 5–6, pp. 352–362, 2007.
- [29] J. C. Alvarez-Zeferino, S. Ojeda-Benítez, A. A. Cruz-Salas, C. Martínez-Salvador, and A. Vázquez-Morillas, “Microplastics in Mexican beaches,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 155, p. 104633, Apr. 2020.
- [30] E. N. Topçu, A. M. Tonay, A. Dede, A. A. Öztürk, and B. Öztürk, “Origin and abundance of marine litter along sandy beaches of the Turkish Western Black Sea Coast,” *Mar. Environ. Res.*, vol. 85, pp. 21–28, Apr. 2013.

Presencia de microplásticos en cuatro zonas de la playa Coatzacoalcos

¹Juan Carlos Alvarez Zeferino, ²Jocelyn Tapia Fuentes, ²Arely Areanely Cruz Salas, ²Alethia Vázquez Morillas, ¹Sara Ojeda Benítez, ¹Samantha Cruz Sotelo

¹ Universidad Autónoma de Baja California. Calle Normal s/n Boulevard Benito Juárez. Col. Insurgentes Este, Parcela 44, 21100 Mexicali, B.C. juan.carlos.alvarez.zeferino@uabc.edu.mx. Teléfono. 5553189000 Ext. 2196 o 2273

²Universidad Autónoma Metropolitana

Resumen

La presencia de microplásticos (MP) en playas ha sido documentada en varios estados del país, una de las vías de transporte a estos ecosistemas es el vertimiento de aguas residuales. El presente estudio se llevó a cabo en la playa del municipio de Coatzacoalcos en el estado de Veracruz con el objetivo de determinar si existían diferencias significativas entre las concentraciones de MP en zonas cercanas a la descarga de aguas residuales (AR) y alejadas. Se eligieron cuatro áreas de muestreo, dos cercanas a las descargas de AR y dos alejadas de las mismas, en cada área se delimitó un transecto de 100 m y se eligieron 10 puntos aleatorios para la toma de muestra, que se extrajo con un cilindro de 19 cm de diámetro y 5 de profundidad. En todas las áreas se encontraron MP, la concentración promedio global fue de 212.1 ± 101.8 MP/m². Los resultados demostraron una relación significativa entre la presencia de MP en áreas cercanas a la descarga de AR, las concentraciones fueron 2.3 veces mayores a las zonas alejadas. Los MP más comunes fueron de origen secundarios, sin embargo, también se encontraron primarios (pellets) los cuales son atribuidos al puerto comercial de la zona. La forma más común fue fragmento, y los colores blancos, transparentes y amarillos prevalecieron. En cuanto al tamaño, el intervalo más común fue 0.5 – 1.0 mm. La descarga de AR en entornos marinos aporta MP, por lo que se debe dar un tratamiento antes de su llegada al mar.

Palabras Clave: Arena, contaminación marina, residuos plásticos

1. Introducción

Las playas son parte importante del paisaje y constituyen uno de los ecosistemas socio-ecológicos más complejos del ambiente. Proporcionan hábitat a algunas especies de invertebrados que se han adaptado al oleaje y al movimiento de la arena, además de aves, anfibios, reptiles y peces que se alimentan y reproducen en la zona de playa expuesta o en las dunas costeras [1], [2]. Además de funcionar como ecosistema, las playas son de gran importancia económica para actividades primarias como la pesca, y actividades terciarias como el turismo. El sector turístico de “sol y playa” constituye más de las tres cuartas partes del turismo mundial [1] - [3].

Aún con el valor que las playas aportan, éstas presentan contaminación por residuos sólidos, que llegan a ellas debido a una mala disposición de los residuos generados en las actividades económicas que se realizan en la zona, o a través de su transporte en ríos [4] - [5]. De acuerdo con los informes presentados por Ocean Conservancy en 2017, los 10 residuos más comunes encontrados en playas están compuestos total o parcialmente de plásticos. En la limpieza de costas realizada en 2018 las colillas de cigarro fueron el residuo con mayor presencia en la playa, con 5, 716,331 (5.87%) de piezas encontradas en 35,890 kilómetros recorridos. En tercer y quinto lugar se encontraron los popotes y botellas de plástico, con 3,668,871 (3.76%) y 1,754,908 (1.8%) de piezas recolectadas respectivamente, por mencionar algunas [6].

En las playas pueden encontrarse piezas pequeñas de plástico, si éstas tienen un tamaño menor a 5 mm son consideradas como microplásticos (MP), los cuales se pueden clasificar en primarios y secundarios. Los primarios son piezas plásticas que tienen esas dimensiones desde su fabricación y pueden llegar a las costas a través de la actividad portuaria, mientras que los secundarios provienen de macroplásticos (> 5 mm) los cuales son degradados por factores como la radiación UV, la oxidación y el movimiento de las olas [4] - [7]. La presencia de MP en ambientes marinos supone un gran problema, ya que pueden ser ingeridos por la fauna marina que los confunde con alimento. La ingesta de MP puede causar asfixia, disminución del apetito y las habilidades reproductivas, y puede transportar contaminantes como hidrocarburos y metales a través de la cadena trófica [4], [5], [7].

La playa de Coatzacoalcos se encuentra dentro del municipio del mismo nombre y se ubica al sur del estado de Veracruz y al norte del Istmo de Tehuantepec, colinda con el Golfo de México, y forma parte de la cuenca del Río Coatzacoalcos [8]. La playa tiene una longitud de aproximadamente 8 km, y en ella descargan aguas residuales. El objetivo de este trabajo es determinar si existen diferencias significativas en las concentraciones de MP que se encuentran cercanos a una zona de descarga de aguas residuales, con respecto a zonas alejadas de la descarga.

2. Metodología

El estudio se llevó a cabo en el mes de marzo de 2019, en la playa de Coatzacoalcos, la cual se ubica en las coordenadas $18^{\circ} 9'2.29''N$ y $94^{\circ}28'38.39''O$. En la Figura 1 se presenta la ubicación geográfica de la zona de estudio, así como las cuatro áreas elegidas para llevar a cabo la toma de muestras. Las áreas A1 y A2 fueron elegidas por estar alejadas de la descarga de aguas residuales (~300 m), mientras que las A3 y A4 se localizaban próximas a las descargas. Algunas de las características relevantes de la playa se muestran en la Figura 2.



Figura 1. Mapa de la ubicación de la zona de estudio



Figura 2. Playa Coatzacoalcos. a) actividad turística en la zona; b) palapas instaladas; c) drenaje en playa; d) desembocadura; e) microplásticos en arena; f) muestreo de microplásticos

En cada una de las cuatro áreas elegidas, se siguió la metodología de muestreo y extracción de MP propuesta por Alvarez-Zeferino et al. (2020) [9]. Las unidades en que se presentan los resultados son microplásticos por área (MP/m^2), y corresponden al intervalo de 0.5 - 5.0 mm y a una profundidad de 5 cm.

Los resultados obtenidos se sometieron a una prueba de normalidad, posteriormente se realizó una prueba no-paramétrica Kruskal-Wallis, evaluando como factor la proximidad a los desagües y como variable de respuesta las concentraciones en cada área ($n=10$), ambas pruebas se realizaron con un 95 % de confianza, además se realizó un gráfico de caja y bigotes para determinar su distribución.

3. Resultados y discusión

En la presente sección se presentan los resultados de las concentraciones de microplásticos en los puntos de muestreo, así como sus características.

En la Tabla 1 se presentan los parámetros estadísticos evaluados para cada punto. En todos los puntos muestreados se encontró presencia de microplásticos. El valor de la mediana más alto se obtuvo en el A3 (313.4 MP/m²), la cual se localiza próxima a un desagüe, mientras que la playa con menor concentración se localizó en A1 con una mediana de 105.6 MP/m².

Tabla 1. Parámetros estadísticos para las áreas muestreadas

Parámetros	A1 (Alejada)	A2 (Alejada)	A3 (Próxima)	A4 (Próxima)
Mediana	105.6	158.5	334.5	281.7
Media	112.7	137.3	313.4	285.2
Intervalo	35.2 - 211.3	35.2 - 281.7	70.4 - 528.2	105.6 - 422.5

En la Figura 3 se presenta el gráfico de cajas y bigotes, así como el valor p obtenido en la prueba no paramétrica, el cual indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las áreas de muestreo. Las áreas más próximas presentan mayor contaminación de microplásticos comparándolas con las alejadas.

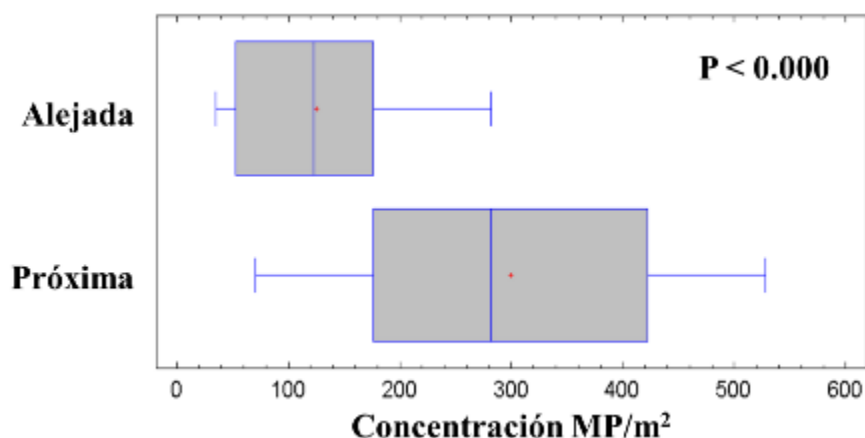


Figura 3. Análisis de Kruskal-Wallis con 95% de confianza y diagrama de caja y bigotes

Con base en lo anterior se demostró que las aguas residuales aportan MP a los ecosistemas marinos, cuando no cuentan con un tratamiento para su remoción. La presencia de MP en afluentes y efluentes en plantas de tratamiento ha sido reportada en otros estudios tal es el caso de Sun et al. (2019) quienes realizaron muestreos en plantas de tratamiento de diferentes países como Estados Unidos, Australia y Francia, donde encontraron concentraciones entre 1 – 10,044 partículas/L para los afluentes, y concentraciones entre 0 - 447 partículas/L para los efluentes. Estos valores se relacionaron con factores como los tipos de tratamiento con los que contaban las plantas (primario, secundario y terciario), el tamaño de las poblaciones, los caudales tratados, los sistemas de alcantarillado y los puntos de generación de los afluentes (residencial, comercial o industrial). Las concentraciones más altas se presentaron en efluentes que solo tuvieron un tratamiento primario o secundario [10].

Por otro lado Correira-Prata et al. (2019) menciona que los microplásticos presentes en aguas residuales provienen de diferentes fuentes como: cosméticos, productos de higiene personal (pastas dentales), fibras de textiles sintéticos liberadas en cada ciclo de lavado, pellets perdidos durante los procesos de fabricación, poliestireno utilizado como relleno de empaques y piezas plásticas (macro o micro) que se encuentran en el ambiente y pueden entrar a los desagües o sistemas de alcantarillado [11].

3.1 Clasificación de los microplásticos por origen, tipo, color y tamaño

La clasificación de los microplásticos por origen se presenta en la Figura 4. Se observa que en las cuatro áreas de estudio los microplásticos de origen secundario fueron los más comunes, con una proporción promedio del 82.5%. Este resultado coincide con otras investigaciones de MP en sedimentos de playas de arena, las cuales señalan que los MP encontrados son en su mayoría de origen secundario con porcentajes superiores al 90% [9], [12].

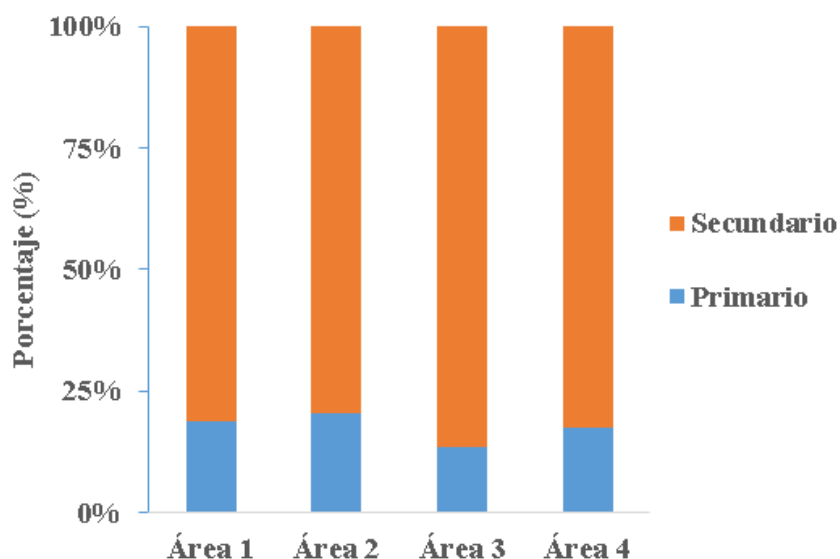


Figura 4. Clasificación de microplásticos por origen

En la Figura 5 se muestra la clasificación de MP por tipo. Se aprecia que independientemente del área muestreada el tipo más común en promedio fue fragmento con 47.5%, seguido del espumado (20.6 %) y pellet (16.3%). Los fragmentos también han sido uno de los tipos de MP más comunes que han reportado otras investigaciones [9], [12], [13] y se tiene la conjetura de que provienen de la degradación de plásticos rígidos y semirrígidos de mayor tamaño. En el caso de los espumados estos se atribuyen a la fragmentación de algunos residuos plásticos desechables hechos de unicel como es el caso de platos, vasos y charolas, que con frecuencia se emplean en los alimentos denominados “comida rápida”.

En cuanto a los pellets, se cree que su presencia se debe a la cercanía que hay entre Coatzacoalcos y la empresa Braskem Idesa, ubicada en Nanchital, Veracruz, y el puerto marítimo comercial de Coatzacoalcos. La empresa se dedica a la producción de la materia prima para la producción de polietileno de alta y baja densidad mientras que en el puerto se transporta la materia prima para la fabricación de plásticos [14], [15], en ambos casos durante sus operaciones o el transporte del producto los pellets pueden entrar al ambiente y posteriormente, a través de las corrientes marinas, llegar a las playas.

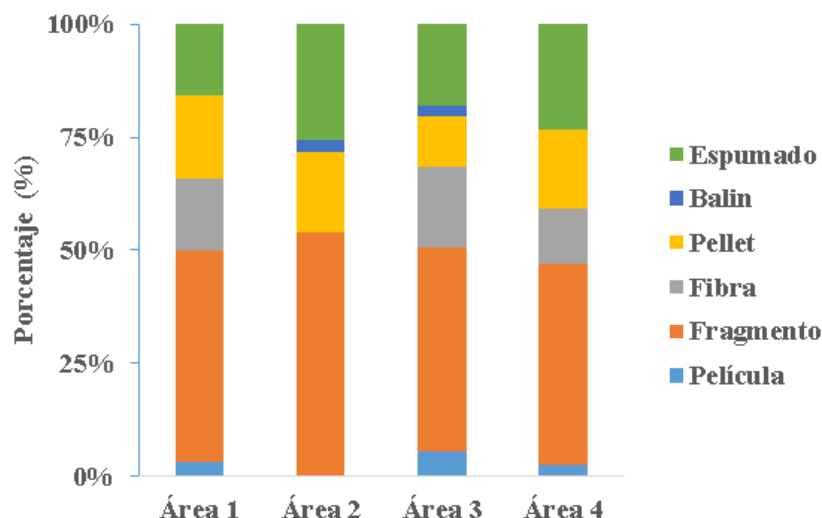


Figura 5. Clasificación de microplásticos por forma

La información con respecto al color del MP se encuentra en la Figura 6. Los tres colores más comunes en casi todas las zonas de muestreo fueron blanco, transparente y amarillo, excepto en el área 1 donde el verde se posicionó en tercer lugar. El color blanco se atribuye a los MP espumados los cuales provienen de la fragmentación de desechables comúnmente empleados para la venta de diferentes alimentos en la zona de playa. Por su parte el alto porcentaje de MP transparentes podría deberse a la fragmentación de algunos recipientes de comida, botellas de bebidas o bolsas de plástico de color transparente que dan lugar a MP del tipo fragmentos (rígidos o semirrígidos) y película.

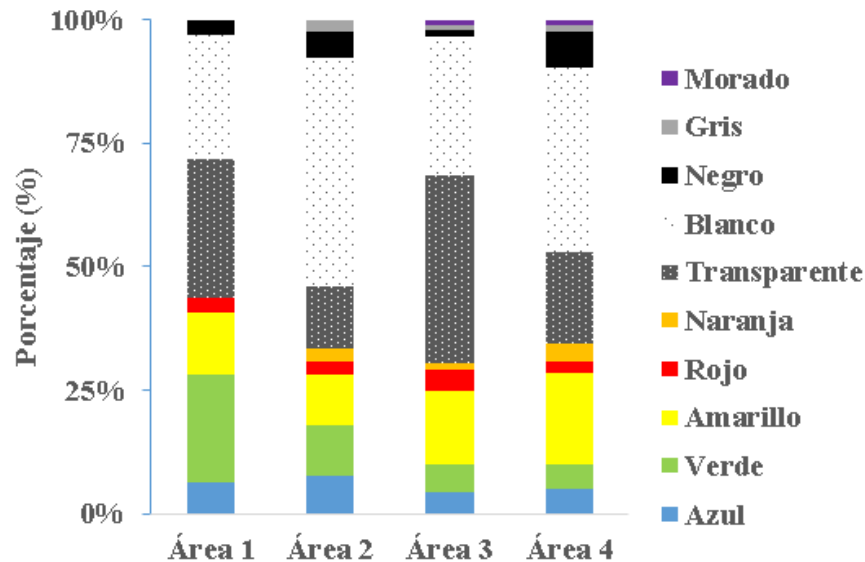


Figura 6. Clasificación de microplásticos por color

3.4 Clasificación por tamaño

Finalmente, en la clasificación por tamaño (Figura 7) se encontró que el más común en todas las zonas muestreadas fue el del intervalo 0.5 – 1.0 mm (51.6% en promedio) que es el tamaño más pequeño. El tamaño de los MP puede indicar si los residuos plásticos de mayor tamaño han estado expuestos a la

intemperie por un largo tiempo o no, pues se tiene la conjetura de que cuando los MP son en su mayoría de origen secundario y de tamaño pequeño es porque los macroplásticos han experimentado diversos tipos de degradación al encontrarse a la intemperie, dando lugar a piezas de plástico cada vez más pequeñas.

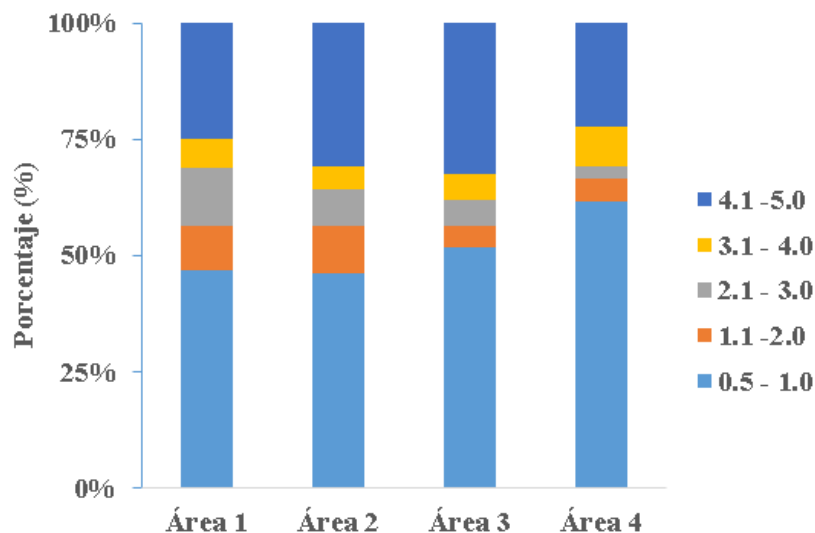


Figura 7. Clasificación de microplásticos por tamaño (mm)

4. Conclusiones

La presencia de microplásticos se evidenció en todas las áreas muestreadas, con un valor promedio global de 212.1 ± 101.8 MP/m². Sin embargo, existió diferencia estadística significativa entre las áreas cercanas a las descargas de aguas residuales (125.0 ± 17.4) con respecto a las alejadas (299.3 ± 19.9), siendo 2.3 veces mayores en las primeras, lo que sugiere que la descarga de aguas residuales aporta MP en las playas.

La mayor proporción de MP fue secundarios, sin embargo, se encontraron microplásticos primarios (pellets) los cuales son relacionados a la cercanía al puerto mercantil del municipio. En cuanto a la forma los fragmentos fueron los más comunes, con respecto al color los más recurrentes fueron blanco, transparente y amarillo y el tamaño más común fue de 0.5 -1.0 mm (51.6 %).

A pesar de que en las playas se vierten aguas residuales, la playa de Coatzacoalcos resulta una atracción turística para algunas personas de la zona, por lo que se debe atender la descarga directa de aguas residuales sobre la playa.

Con la finalidad de detectar otras fuentes de ingreso y permanencia, se recomienda realizar muestreos en otras temporadas; además para contrastar la información obtenida de MP, se podrían realizar muestreos de residuos (residuos sólidos urbanos y fragmentos) los cuales proveerían un mayor panorama de la contaminación en la playa.

Referencias Bibliográficas

- [1] B. Araújo De Miguel, "Importancia de las playas arenosas en el reciclaje de la materia orgánica," p. 159, 2017.
- [2] O. Darío and C. Rosas, "Las playas mexicanas : retos y desafíos," no. May, pp. 1–16, 2019.
- [3] C. Hernández Crisostomo and C. A. Poot Delgado, "Residuos sólidos generados en malecón turístico," *Concienc. Tecnológica*, no. 53, pp. 28–32, 2017.

- [4] Álvarez-Zeferino J.C., Ojeda-Benítez S., Cruz-Salas A.A., Vázquez-Morillas A., “Basura marina: Residuos en playas mexicanas,” in *Memorias de congreso nacional AMICA 2019*, 2019, vol. 53, no. 9, pp. 88–93.
- [5] Beltrán-Villavicencio M., Mendoza-Muñoz N., Vázquez-Morillas A., Álvarez-Zeferino J.C., “Presencia de hidrocarburos en microplásticos de una playa mexicana,” in *Memorias de congreso nacional AMICA 2019*, 2019, vol. 53, no. 9, pp. 83–87.
- [6] Ocean Conservancy, “The Beach And Beyond - International Coastal Cleanup 2019 Report,” pp. 1–30, 2019.
- [7] B. Graca, K. Szewc, D. Zakrzewska, A. Dołęga, and M. Szczerbowska-Boruchowska, “Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea—a preliminary study,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 24, no. 8, pp. 7650–7661, 2017.
- [8] S. Flores, D. Cruz, L. Miguel, P. León, and Q. Díaz, “Coatzacoalcos : espacio social y desarrollo histórico del capitalismo en una región del sur veracruzano Coatzacoalcos : social space and historical development of capitalism in a southern region of Veracruz,” vol. 2, pp. 54–74, 2017.
- [9] J. C. Alvarez-Zeferino, S. Ojeda-Benítez, A. A. Cruz-Salas, C. Martínez-Salvador, and A. Vázquez-Morillas, “Microplastics in Mexican beaches,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 155, p. 104633, Apr. 2020.
- [10] J. Sun, X. Dai, Q. Wang, M. C. M. van Loosdrecht, and B. J. Ni, “Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal,” *Water Res.*, vol. 152, pp. 21–37, 2019.
- [11] J. Correia-Prata, J. P.da Costa, A. C. Duarte, and T. Rocha-Santos, “Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review,” *TrAC Trends Anal. Chem.*, vol. 110, pp. 150–159, Jan. 2019.
- [12] A. A. Cruz-Salas, J. C. Álvarez-Zeferino, A. Vázquez-Morillas, and S. Ojeda-Benítez, “Presencia de microplásticos en zona de baja y alta afluencia en una playa del Golfo de México,” in *Libro de actas. VIII Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*, 2019, pp. 799–807.
- [13] D. G. de Carvalho and J. A. Baptista Neto, “Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil,” *Ocean Coast. Manag.*, vol. 128, pp. 10–17, Aug. 2016.
- [14] Braskem Idesa, “Braskem Idesa: Perfil,” 2020. [Online]. Available: <http://www.braskemidesa.com.mx/perfil>. [Accessed: 14-Jun-2020].
- [15] APIVER - Administración Portuaria Integral de Veracruz, “Infraestructura del Puerto: Centro de Control de Tráfico Marítimo,” 2020. [Online]. Available: <https://www.puertodeveracruz.com.mx/wordpress/infraestructura/centro-de-control-de-traffic-maritimo/>. [Accessed: 14-Jun-2020].

Prácticas de seguridad e higiene en la recolección de residuos en el contexto del COVID-19: un ensayo de ciencia ciudadana

¹Ana Laura Tecorralco Bobadilla, ¹Beatriz Pérez Aragón, ¹Alethia Vázquez Morillas, ¹Rosa María Espinosa Valdemar, ¹Maribel Velasco Pérez, ¹Arely Areanely Cruz Salas

¹Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco (UAM-A), Av. San Pablo #180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, Ciudad de México, rmev@azc.uam.mx

Resumen

La gestión de los residuos, actividad esencial para proteger la salud de la población, se ha visto afectada en todas sus etapas durante la pandemia por COVID-19. A pesar de que se han publicado manuales de mejores prácticas para el personal que se dedica a la recolección de residuos, se han reportado contagios entre los recolectores. Esta investigación reporta la aplicación de ciencia ciudadana para conocer las prácticas de seguridad e higiene adoptadas por las personas que participan en la recolección de residuos en México. Por medio de redes sociales se difundió la convocatoria para participar en la realización de entrevistas a los recolectores. Se realizaron 34 entrevistas, de las cuales la mayor parte fueron aplicadas en el Estado de México (56%). La mayoría de los entrevistados fueron hombres (88%) entre 41 y 50 años (35%) con secundaria como escolaridad máxima (38%). El 82.4% reportó cambios en la generación y composición de residuos durante la pandemia. La mayoría de los recolectores manifestó haber recibido capacitación (58.8%) y equipo de protección personal (76.5%). Sin embargo, en el momento de la entrevista 91.2% no utilizaba protección ocular y 47.1% no portaba tapabocas o mascarilla. El 67.7% identificó la fiebre y dolor de cabeza como los síntomas más comunes de COVID-19. Finalmente, la mayoría de los recolectores (67.7%) opinó que la pandemia le ha afectado. Este trabajo sugiere que es posible la aplicación de la ciencia ciudadana como herramienta para fomentar la gestión integral de los residuos.

378

Palabras Clave: *Ciencia ciudadana, COVID-19, recolección, residuos recuperables.*

1. Introducción

La gestión integral de los residuos es uno de los servicios esenciales para la sustentabilidad, salud e inclusión [1], [2]. En 2016 la generación de residuos a nivel mundial se estimó en 2.01 billones de toneladas, equivalente a 0.74 kg/persona/día, aunque esta cifra varía entre 0.11 y 4.54 kg/persona/día dependiendo de la región geográfica [2]. En ese mismo año el 5% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial se debieron a la gestión de los residuos. Además, a pesar de gastar el 20% de su presupuesto en la gestión de residuos, los municipios de países en vías de desarrollo depositan más del 90% de sus residuos en tiraderos a cielo abierto o los queman [2].

1.1 Gestión de los residuos en el contexto del COVID-19

La gestión de residuos es una herramienta fundamental para proteger la salud durante los brotes de enfermedades infecciosas, como el COVID-19 que es causada por el virus SARS-CoV-2 [3]. Los residuos sólidos urbanos (RSU) pueden representar un foco de infección al SARS-COV-2, debido a la persistencia que este virus tiene en los materiales de muchos residuos. Se ha reportado la prevalencia del virus por 3 días en plástico y acero inoxidable, 2 días en cartón, y 4 h en cobre, aunque estos tiempos pueden variar dependiendo de las condiciones ambientales de temperatura y humedad [4]–[6]. Por ello, es de suma importancia asegurar la protección del personal encargado de la gestión de RSU.

En este contexto, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales han publicado guías de mejores prácticas para la prevención del COVID-19 en el manejo de los residuos sólidos urbanos [1], [7], [8]. En México las recomendaciones emitidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) incluyen, entre otras, medidas precautorias antes y durante la realización de las actividades para la protección y cuidado del personal involucrado en esta labor [9].

Antes de comenzar sus actividades, el estado general de salud de los trabajadores debe ser corroborado, para descartar temperaturas altas y síntomas respiratorios. También se debe realizar una limpieza general de las cabinas de cada unidad de recolección, utilizando una solución de agua clorada (conocida como solución anti COVID-19). Además, cada cuadrilla de recolección deberá contar con un atomizador que contenga la solución anti COVID-19, con el fin de rociar los residuos antes de su recolección [9].

Para que las actividades se puedan desarrollar de forma segura, la SEMARNAT estipula que se debe proveer al personal, formal e informal, con equipo de protección personal (EPP), que incluye guantes, cubrebocas con fijador metálico y lentes de protección, los cuales deben manejarse con los cuidados de higiene pertinentes. Asimismo, se deben mantener las medidas generales como el distanciamiento social y el estornudo de etiqueta [9]. Además de incluir las prácticas antes mencionadas, en algunos países como España, también se ha diferenciado la recolección de los residuos en los sitios con un número alto de contagios [10].

A pesar de estas medidas se reportan casos de COVID-19 entre personas que trabajan en la gestión de residuos. Por ejemplo, hasta el 5 de mayo de 2020 se habían identificado 1,000 casos confirmados en Estados Unidos y Canadá [11], con 354 casos reportados en el personal del Departamento de Sanitización de Nueva York (hasta el 8 de abril de 2020) [12]. En el caso de la Ciudad de México durante la emergencia sanitaria han fallecido 94 trabajadores del sistema de limpia, y aunque no hay información disponible del número de decesos derivados del COVID-19, en la prensa las estimaciones van de 40 a 94 personas [13], [14].

Los contagios por COVID-19 se pueden atribuir a la falta de provisión constante de EPP para trabajadores y voluntarios, la calidad del EPP proporcionado, el uso intermitente o incorrecto del EPP, la falta del lavado de manos, dificultad para mantener el distanciamiento social en los espacios de trabajo, y el manejo inadecuado por parte de los generadores (entregar sin marcar residuos de domicilios con pacientes COVID-19, entregar sin separar los residuos valorizables, no rociar las bolsas con solución anti COVID-19, y no esperar 72 h antes de entregar los residuos a los recolectores).

1.2 Ciencia ciudadana como herramienta en la gestión de los residuos

La Ciencia Ciudadana es descrita como la parte de la investigación científica que utiliza datos obtenidos por un sector no especializado, pero de alguna forma interesado en las problemáticas investigadas, dispuesto a ofrecer su participación para la generación de información que contribuya a ciertas líneas de investigación [15]. Los voluntarios que participan en proyectos de ciencia ciudadana siguen una serie de instrucciones proporcionadas por investigadores para adquirir los datos necesarios y enviarlos posteriormente al personal a cargo del proyecto de investigación [16]. Es importante mencionar que los datos obtenidos por los voluntarios deben ser verificados por un grupo de especialistas [15].

Un par de ejemplos exitosos de la aplicación de la ciencia ciudadana son la recolección de datos de impactos ambientales como la caza no permitida y la tala de árboles en el Congo para un grupo de científicos en el University College London [16] y el Programa Marino del Golfo de California que utiliza esta herramienta para generar una descripción de la biología y ecología de ciertas especies marinas de esta región para mapear su intensidad pesquera y el potencial económico que representan e incluso relacionarlo con los avistamientos de la vaquita marina [17].

La ciencia ciudadana se puede aplicar exitosamente para obtener información sobre la gestión de los residuos, especialmente en situaciones donde la movilidad de las personas está restringida, como es el

caso actual de la contingencia sanitaria por COVID-19. La información obtenida por los ciudadanos de manera voluntaria puede ayudar a comprender las afectaciones derivadas de la pandemia que enfrentan los sistemas de recolección de residuos.

El objetivo de este trabajo es analizar las prácticas de seguridad e higiene por parte de los recolectores de residuos, mediante entrevistas realizadas con un proyecto de ciencia ciudadana alrededor de la República Mexicana, en el contexto de la pandemia.

2. Metodología

La investigación se llevó a través de una convocatoria para reclutar voluntarios para la aplicación de entrevistas a los recolectores de residuos que dan servicio en su lugar de residencia. La convocatoria se publicó en redes sociales como Facebook y se distribuyó también a través de WhatsApp (Figura 1). Se registraron un total de 27 voluntarios y el periodo de aplicación de las entrevistas fue del 22 al 30 de junio del 2020.

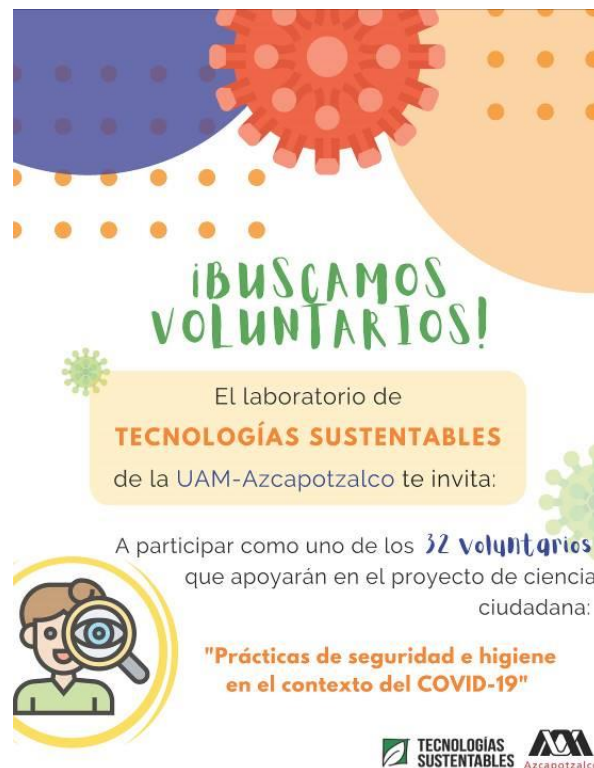


Figura 12. Volante difundido en redes sociales para el reclutamiento de voluntarios

Una vez que se contó con los voluntarios, se les envió la entrevista y un instructivo para su aplicación. La entrevista consistió en 34 preguntas divididas en 6 secciones:

- Información general: género, rango de edad, nivel educativo, municipio o alcaldía
- Efecto del COVID-19 en la composición y generación de residuos
- Recuperación de materiales
- Prácticas de seguridad e higiene
- Conocimiento y percepción sobre el COVID-19
- Preguntas generales

Los voluntarios enviaron las entrevistas aplicadas por correo electrónico y la información obtenida se procesó en el programa Excel, con el fin de conocer las prácticas de recolección en el contexto del COVID-19.

3. Resultados y discusión

3.1 Información general

Se entrevistó a 34 personas que trabajan (formal o informalmente) en los servicios de recolección de residuos. La mayoría de estos (56%) laboran en el Estado de México, seguido del 21% en la Ciudad de México, 9% en Veracruz y el resto corresponde a cinco estados (Hidalgo, Morelos, Michoacán, Guerrero, Querétaro). En cuanto a las condiciones de trabajo, 59% de trabajadores entrevistados son empleados de un municipio o alcaldía, 17.65% son miembros de alguna agrupación y otro 17.65% trabaja por su cuenta. Por otro lado, 88% son hombres, el rango de edad predominante fue de 41-50 años (35%) y de 31-40 años (26%). El 38% de los entrevistados manifestó como escolaridad máxima la secundaria y el 29% primaria.

3.2 Efecto del COVID-19 en la composición y generación de residuos

Durante la contingencia por COVID-19 la percepción que tienen los recolectores sobre la generación y composición de residuos ha cambiado, el 82.4% de los entrevistados manifestó que la cantidad o tipo de residuos recolectados se han modificado. La Figura 2 presenta el porcentaje de recolectores que ha percibido una disminución (expresada con números negativos) o un aumento (expresado con números positivos) en la generación de algunos tipos de residuos. Para la mayoría de los residuos algunos recolectores percibieron disminución en la generación, mientras que otros percibieron un aumento. Por ejemplo, para el cartón el 10.5% de los entrevistados percibió una disminución y 9.8% un aumento.

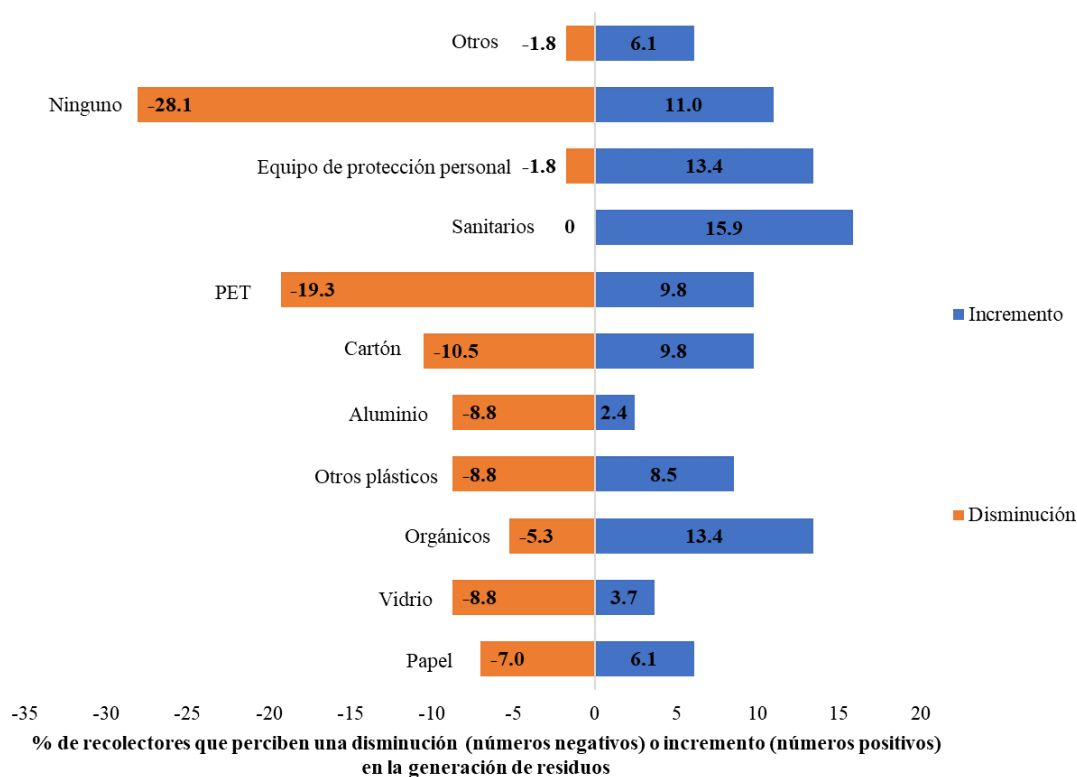


Figura 13. Percepción de los recolectores sobre el cambio en la generación de residuos

3.3 Recuperación de materiales

La separación de materiales reciclables por parte de los recolectores sigue siendo una práctica común, el 88.24% de los entrevistados aún la lleva a cabo. El 32.5% de los entrevistados reportó separar al día 100 kg o menos de residuos, y el 70.59% manifestó venderlos. Los materiales que más se separan entre los entrevistados son: cartón (79.4%), PET (76.5%), aluminio (52.94%) y papel (52.9%).

3.4 Prácticas de seguridad e higiene

En lo que respecta a las prácticas de seguridad e higiene durante la recolección de los residuos, el 58.8% del personal manifestó haber recibido capacitación para realizar la recolección y manejo adecuado de los residuos durante la contingencia, y el 76.5% de los trabajadores dijo haber recibido algún EPP (Figura 3). Los EPP más comúnmente proporcionados son el cubrebocas (76.5%), guantes (52.9%) y gafas de protección (20.6%), los tres son importantes para proteger las principales vías de transmisión de COVID-19 (ojos, nariz y boca). Los recolectores reportaron frecuencias de reemplazo del EPP muy variadas, el 14.71% lo reemplaza diario, 35.3% entre cada dos días y cada semana y 14.71% no utiliza EPP. El 8.82% de los recolectores manifestaron utilizar cubrebocas lavable. Complementando las acciones adecuadas al cuidado personal de cada trabajador, 76.47% utilizan gel antibacterial en algún momento de su jornada laboral, la frecuencia reportada de su uso es muy variable, desde cada hora (2.9% de los entrevistados) hasta más de 4 veces al día (17.7% de los entrevistados).

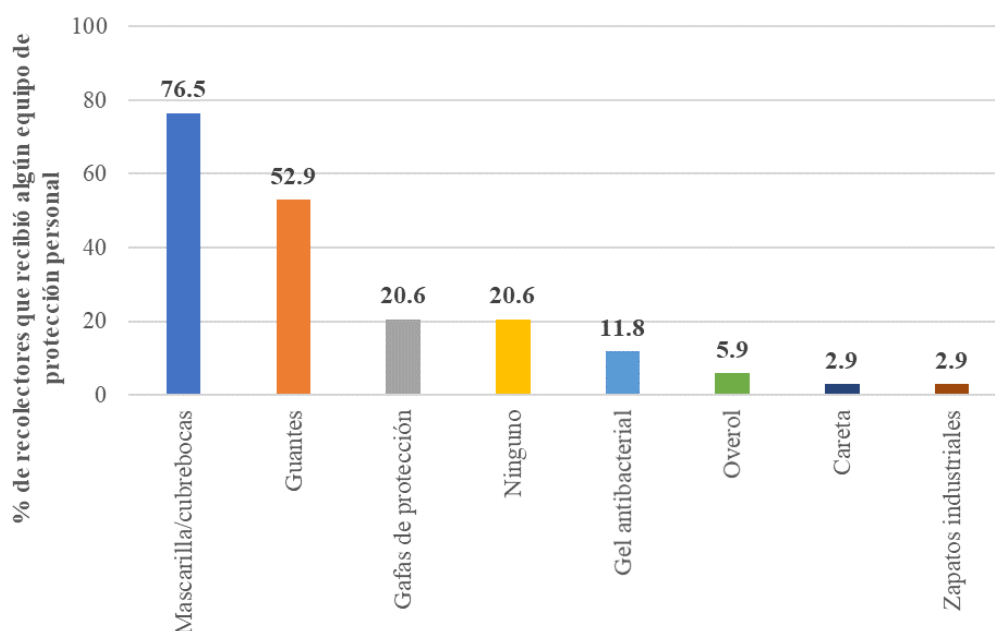


Figura 14. Equipo de protección personal recibido por los recolectores

El COVID-19 se puede transmitir al tener contacto con superficies que se encuentran contaminadas con el virus causante de esta enfermedad, como podría ser el caso de los contenedores o camiones recolectores. El contacto constante con superficies potencialmente contaminadas (Figura 4) es una acción de riesgo a la salud, por ello la importancia de la desinfección de los contenedores y camiones; sin embargo, sólo el 50% reportó llevar a cabo la desinfección interna y externa de éstos, siendo cada tercer día la mayor frecuencia con que se realiza esta actividad (32.35% de los entrevistados).



Figura 15. *Contacto constante entre trabajador y residuos*

Cabe resaltar que 61.76% de los recolectores no ha proporcionado alguna indicación específica a las personas sobre el manejo de sus residuos durante la contingencia. No obstante, el 11.8% de los entrevistados solicitaron a las personas separar algún EPP y 2.94% pidieron a los ciudadanos reportar residuos de pacientes con COVID-19.

En el momento en el que se realizaron las entrevistas el 91.2% de los recolectores no contaba con protección ocular (mascarilla o gafas de protección) y el 47.1% tenía expuestas las vías aéreas (falta de mascarilla y/o cubrebocas). La figura 5 presenta algunos ejemplos de la falta de EPP por parte de los recolectores.



Figura 16. *Entrevista a trabajadores del servicio de recolección de residuos*

3.5 Conocimiento y percepción sobre el COVID-19

La mayoría de los entrevistados (82 %) afirmó tener conocimiento de las maneras de transmisión del COVID-19, de las cuales estornudar y toser fueron las formas más conocidas de contagio, con 61.8% para cada caso; sólo el 2.9% desconoce las vías de transmisión. Además, los recolectores identificaron adecuadamente los síntomas característicos de COVID-19 como fiebre (67.7%), dolor de cabeza (50%) y dificultad para respirar (41.2%).

En general, 67.7% de los recolectores manifestaron afectación en su trabajo a causa de la pandemia, comentando que se ha presentado una disminución del trabajo, un decremento en los residuos recuperables para venta, cambio en el trato por parte de las personas, lo que se ha visto reflejado en una disminución de las propinas. Por el contrario, el 23.53% mencionó que ha sido favorable, porque tienen más trabajo y por lo tanto más propinas. El trabajo que realiza el personal de recolección es de gran importancia, evitan la acumulación de residuos en casa o incluso en vías públicas, sin embargo, 53.13% de los recolectores

manifestaron sentirse preocupados o con miedo a enfermarse, como consecuencia de sus actividades laborales.

4. Conclusiones

El COVID-19 ha afectado las prácticas de manejo de los residuos domésticos y el trabajo de las personas dedicadas a la recolección de residuos. Si bien las entrevistas realizadas no se pueden considerar representativas de la situación actual en el país, permiten identificar algunas situaciones relevantes.

Se entrevistó a 34 recolectores de residuos, que en su mayoría fueron hombres que se encuentran en un rango de edad de 41-50 años y tienen la secundaria como nivel educativo máximo. Aunque la mayoría reportó haber recibido EPP, solamente una proporción pequeña usaba mascarilla, cubrebocas o gafas de seguridad en el momento en el que se realizó la entrevista. Aunque más del 50% de los entrevistados reportó realizar desinfección del contenedor o el camión recolector, solamente el 14.7% la realiza diariamente. Algo similar ocurre con el empleo de gel antibacterial, la mayoría reportó utilizarlo, pero la frecuencia de uso es muy variada. La aplicación intermitente de estas medidas puede propiciar contagios de COVID-19 en los recolectores.

La generación y composición de los residuos en algunos casos ha cambiado durante la pandemia. Los trabajadores continúan separando los residuos recuperables, en su mayoría para su venta, siendo el cartón, el PET y aluminio los que se separan por un mayor número de recolectores. Por otro lado, la ciudadanía ha cambiado su actitud hacia el personal, evitando acercarse a ellos o incluso salir, lo que conduce a una disminución de las propinas que obtienen.

Este trabajo reporta la aplicación exitosa de la ciencia ciudadana para obtener información sobre el manejo de residuos. Esta herramienta puede utilizarse fuera del contexto del COVID-19 para conocer los sistemas de gestión de los residuos en regiones con gran extensión, como la República Mexicana, con un ejercicio mínimo de recursos económicos.

384

Referencias bibliográficas

- [1] European Commission, “Waste management in the context of coronavirus crisis,” Bruselas, 2020.
- [2] S. Kaza, L. Yao, P. Bhada-Tata, and F. Van Woerden, *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. The World Bank, 2018.
- [3] WHO (World Health Organization) and UNICEF, “Water, sanitation, hygiene and waste management for the COVID-19 virus,” 2020.
- [4] N. Van Doremalen *et al.*, “Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1,” *New England Journal of Medicine*, vol. 382, no. 16. Massachusetts Medical Society, pp. 1564–1567, Apr-2020.
- [5] G. Kampf, D. Todt, S. Pfaender, and E. Steinmann, “Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents,” *Journal of Hospital Infection*, vol. 104, no. 3. W.B. Saunders Ltd, pp. 246–251, Mar-2020.
- [6] D. DiPasquale, “The proper handling of coronavirus waste,” *COVID-19 a microorganism with a massive impact. Waste Management World*, Dresdner, pp. 12–15, 2020.
- [7] WIEGO (Women in informal employment: globalizing and organizing), “Coronavirus and waste pickers: decreasing the risks,” 2020. [Online]. Available: https://www.wiego.org/sites/default/files/resources/file/CORONAVIRUS_WastePickers_Guidelines_23Mar2020_0.pdf.pdf. [Accessed: 08-Jun-2020].

- [8] CDC (Centros para el control y la prevención de enfermedades), “¿Qué debo hacer como recolector o reciclador de residuos para protegerme y desacelerar la propagación?,” *Enfermedad del coronavirus 2019 (COVID-19). Recolectores y recicladores de residuos*, 2020. [Online]. Available: <https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/organizations/waste-collection-recycling-workers.html>. [Accessed: 08-Jun-2020].
- [9] SEMARNAT, “Cartilla de Mejores Prácticas para la Prevención del COVID-19 en el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos,” Ciudad de México, 2020.
- [10] MSCBS, “Instrucción sobre gestión de residuos domésticos y COVID-19,” Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, España, 2020.
- [11] “Supporting Frontline Waste and Recycling Workers Impacted by COVID-19: A Q&A with SWANA’s David Biderman - ProQuest.” [Online]. Available: <https://bidi.uam.mx:8889/docview/2398021872?OpenUrlRefId=info:xri/sid:summon&accountid=37347>. [Accessed: 08-Jun-2020].
- [12] E. A. Crunden and C. Rosengren, “New York reports more than 350 COVID-19 cases among sanitation workers, one death | Waste Dive,” *Waste Dive*, 2020. [Online]. Available: <https://www.wastedive.com/news/labor-covid-19-coronavirus-confirmed-waste-illnesses-new-york-sanitation/575635/>. [Accessed: 10-Jun-2020].
- [13] A. Cruz Flores, “Han muerto por coronavirus 94 trabajadores del servicio de limpia,” *La Jornada*, Ciudad de México, 05-Jun-2020.
- [14] A. Emma, “Mueren 40 personas dedicadas a recolección de basura por COVID-19,” *El Herald de México*, Ciudad de México, 05-Jun-2020.
- [15] K. L. Mercer, “Citizen Science,” *J. Am. Water Works Assoc.*, vol. 110, no. 6, pp. 2–2, Jun. 2018.
- [16] R. Bonney *et al.*, “Next steps for citizen science,” *Science*, vol. 343, no. 6178. American Association for the Advancement of Science, pp. 1436–1437, 28-Mar-2014.
- [17] C. López-Sagástegui, O. Aburto-Oropeza, M. Moreno-Báez, I. Mascarenas, and G. Hinojosa-Arango, “Ciencia ciudadana en el alto Golfo de California: Abriendo camino en el manejo pesquero y la conservación,” *Biodiversitas*, vol. 116, pp. 1–6, 2014.

Efecto del COVID-19 en la separación de residuos

¹Beatriz Pérez Aragón, ²Ana Laura Tecorralco Bobadilla, ³Arely Areanely Cruz Salas, ⁴Maribel Velasco Pérez, ⁵Rosa María Espinos Valdemar, ⁶Alethia Vázquez Morillas

¹⁻⁶Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo # 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Azcapotzalco, Ciudad de México, CP 02200. alethia@azc.uam.mx, teléfono 55-5318-9057

Resumen

El manejo de residuos, aunque es considerado una actividad esencial, también ha sido afectado por la pandemia derivada del COVID-19. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto de la contingencia en las prácticas de separación por parte de la población, para lo cual se aplicó una encuesta en línea, que se desarrolló en un formulario de Google que fue difundido a través de Facebook y WhatsApp, y estuvo disponible por 10 días naturales. Los resultados de las 711 respuestas recibidas muestran que a raíz del COVID-19 se ha generado una disminución en la separación de residuos por parte de los participantes. Además, se han incrementado las prácticas relacionadas con la sanitización de los residuos y se han implementado prácticas específicas para los cubrebocas y guantes desechados. En general se detecta que la información proporcionada por las autoridades con respecto al manejo que debe darse a los residuos reciclables y derivados del desecho de equipo de protección personal es insuficiente, por lo que los ciudadanos carecen de guías claras sobre el manejo.

Palabras clave: *equipo de protección personal, reciclables, riesgo, desinfección*

1. Introducción

La separación de residuos tiene beneficios ambientales, económicos y sociales. En materia ambiental contribuye a la preservación de los recursos naturales y ayuda a disminuir la cantidad de residuos que se llevan a disposición final. La recuperación de residuos participa en la economía en el sector manufacturero, principalmente a través del reciclaje de fibras de celulosa, vidrio, algunos plásticos y aluminio. La separación de residuos en la fuente aumenta la cantidad y el valor de los residuos valorizables y contribuye a fomentar en las y los ciudadanos la cultura de responsabilidad por los residuos que generan.

En México la separación de residuos para su valorización ocurre principalmente en la informalidad, a través de la pepena urbana y en sitios de disposición final, además de la separación por los trabajadores y voluntarios del sistema de limpia en camiones de recolección y estaciones de transferencia. De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en 2018 solamente el 15 % (en volumen) de la recolección de residuos en México se realizaba de forma selectiva, las entidades con mayor recolección de este tipo fueron la Ciudad de México (86 %), Puebla (41.10 %) y Yucatán (12 %) [1].

La contingencia sanitaria por el coronavirus SARS-CoV-2, que causa la enfermedad COVID-19, llevó al cierre temporal de actividades no esenciales. Esto ocasionó la disminución de residuos postindustriales y comerciales, así como el aumento de residuos domiciliarios [2]. Por ello la recolección segregada en casas-habitación se ha convertido en una fuente significativa para la cadena de suministro de materia prima para envases y embalajes [3]. Previo a la pandemia el mercado del reciclaje ya enfrentaba dificultades, tales como las restricciones de importación a China y otros países asiáticos. Se teme que esta crisis se profundice con la disminución de la generación de residuos postindustriales y comerciales, el acopio de materiales de baja calidad de la recolección domiciliaria, la disminución del costo del plástico de materia prima virgen (derivado de la caída en el precio del petróleo) y la disminución de actividades de separación de residuos [4], [5].

1.1 Recolección segregada de residuos en el contexto del COVID-19

El reto es mantener, cuando sea viable, la recolección segregada de residuos y preservar la salud de las personas que participan en esta actividad. Con este fin países como México, España e Italia ordenaron la suspensión de la separación de residuos en los hogares donde existe confirmación o sospecha de pacientes con COVID-19, mientras que en los hogares sin sospecha ni casos confirmados, la separación debe continuar con algunas modificaciones al procedimiento [6], [7]. También se han reportado cambios en la operación de instalaciones para la separación de los residuos. Por ejemplo, México y Francia, cerraron temporalmente las plantas de separación de residuos [8], mientras que en España, la separación se está realizando de manera automatizada, sin presencia de trabajadores en las plantas [9].

La persistencia del SARS-CoV-2 en las superficies de distintos materiales debe ser considerada para la gestión de los residuos. El virus permanece en plástico y acero inoxidable hasta 3 días, en cartón hasta 2 días, y en cobre tan solo 4 h [10], [11]. Estos materiales componen a la mayoría de los residuos sólidos valorizables. Lo anterior ha modificado en una escala global las prácticas de separación [12]. En abril del 2020, en México, la SEMARNAT publicó la Cartilla de Mejores Prácticas para la Prevención del COVID-19 en el Manejo de los RSU, donde se recomienda rociar los residuos con una solución clorada (llamada solución ANTI COVID-19). También se indica que los residuos valorizables deberán ser almacenados por un periodo mínimo de 5 días antes de su entrega al servicio de recolección.

Las personas que trabajan con residuos deben de tomar medidas de seguridad que incluyen utilizar equipo de protección personal (EPP) como guantes resistentes a objetos punzo cortantes y lentes de protección o caretas, lavar o desinfectar manos varias veces al día, evitar tocar ojos, nariz y boca, desinfectar frecuentemente las superficies de objetos de uso constante y mantener el distanciamiento social [13], [14]. También se recomienda el uso de equipo automatizado o semiautomatizado para la recolección y separación [14]. Finalmente la Organización Mundial de la Salud no recomienda un tratamiento especial para los residuos que están o puedan estar contaminados por este virus [13].

En México la suspensión de la separación de residuos valorizables generaría un retroceso en materia ambiental y en las condiciones de trabajo de los pepenadores y empleados del sistema de limpia que separan los residuos para su valorización. El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de la pandemia en la separación de residuos por parte de generadores domiciliarios, con la finalidad de identificar posibles impactos en la valorización de residuos, analizar la percepción de los generadores y evaluar la eficacia de la información brindada por las autoridades.

2. Metodología

La investigación se llevó a cabo a través de una encuesta en línea, desarrollada en un formulario de Google, que se publicó en redes sociales como Facebook y WhatsApp y estuvo disponible por 10 días naturales. La encuesta consistió en 47 preguntas, divididas en 7 secciones:

- Información general sobre el participante
- Prácticas de separación de residuos previas al COVID
- Modificación de prácticas de separación durante el COVID
- Residuos COVID
- Disposiciones emitidas por las autoridades
- Indicaciones emitidas por los recolectores
- Comentarios generales

La información se procesó en el programa Excel, para determinar el efecto que la pandemia ha tenido en las prácticas de separación de la población.

3. Resultados y discusión

El cuestionario fue respondido por 711 personas, de las cuales el 40 % habita en el Estado de México, y el 33.3 % en la Ciudad de México, 1.1% en el extranjero y el resto en otros estados de la República Mexicana. Las características principales de los participantes se presentan en la Figura 1.

En lo referente a la separación de residuos, el 83 % de los participantes manifestó que separaba sus residuos antes del COVID-19. Esta proporción disminuyó hasta 77 % como resultado de la pandemia. Las razones expresadas por las personas que dejaron de separar sus residuos durante la contingencia fueron las modificaciones en el sistema de recolección, el miedo a salir, la falta de tiempo y, en un caso, el temor a que los residuos funcionen como vector de contagio. Los residuos que separan la mayoría de los participantes, tanto antes, como durante el COVID-19 son los orgánicos, el PET, el cartón, las latas de aluminio, el vidrio y el papel.

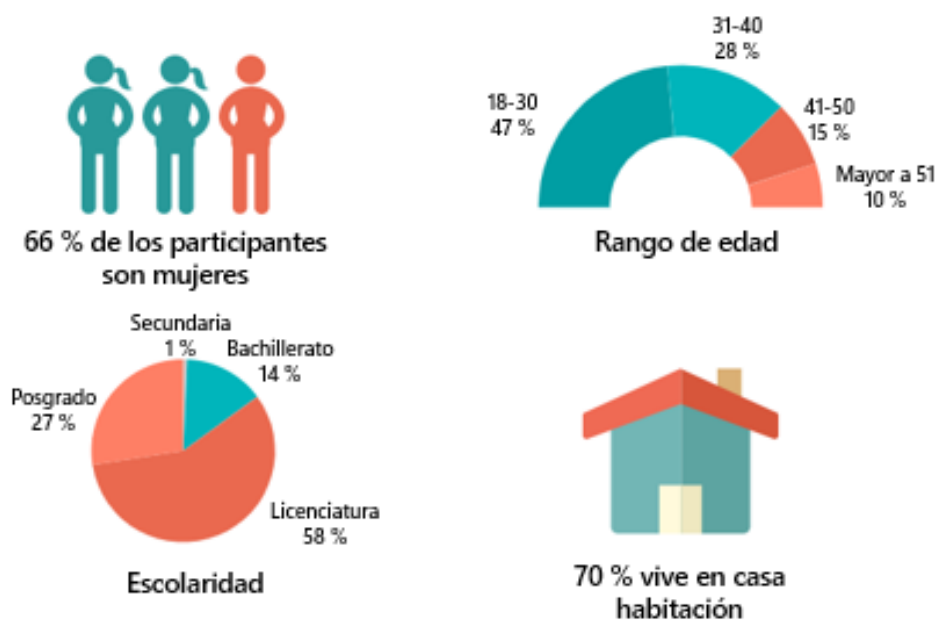


Figura 17. Características de los participantes en el estudio

Con respecto a las prácticas de higiene en el manejo de residuos, mientras que el 44 % desinfectaba el contenedor de almacenamiento de los residuos antes de la pandemia, esa proporción se incrementó a 59 % a raíz del COVID-19. Como medidas de prevención adicionales, 37 % manifestó rociar las bolsas con solución de cloro, 20 % almacenar los residuos reciclables 72 horas antes de su entrega a los recolectores y 17 % lavar sus residuos. El 21 % de los participantes indicó que no toma alguna medida preventiva.

Por otro lado, el surgimiento del COVID-19 ha traído consigo la generación de nuevos residuos, producto de la necesidad de protección personal, como guantes y cubrebocas. Sólo el 52 % de los participantes los manejan de forma separada, generalmente almacenándolos en bolsas de plástico.

En la encuesta se preguntó sobre la presencia de casos de COVID-19 en los domicilios de los participantes. El 4 % de los participantes respondió afirmativamente, y otro 4 % indicó su sospecha de un caso no confirmado. En dicho universo, compuesto por 58 participantes, más del 30% manifestó que no realiza un manejo específico, diferenciado, de los residuos de protección personal que pudiesen ser

portadores del virus. En los casos en que se lleva a cabo alguna medida de prevención la más común es la aspersión de las bolsas que los contienen con una solución de cloro, como se muestra en la Figura 2. A pesar de lo recomendado por SEMARNAT en la cartilla para el manejo de estos residuos, sólo el 17 % de estos participantes marca con alguna leyenda las bolsas que contienen estos residuos. La leyenda más utilizada para marcar los residuos de equipo de protección personal es “cubrebocas y guantes usados”, sin embargo, también se utilizan “residuo con COVID”, “residuo peligroso (hospitalarios) o “contenido biológico sensible”.

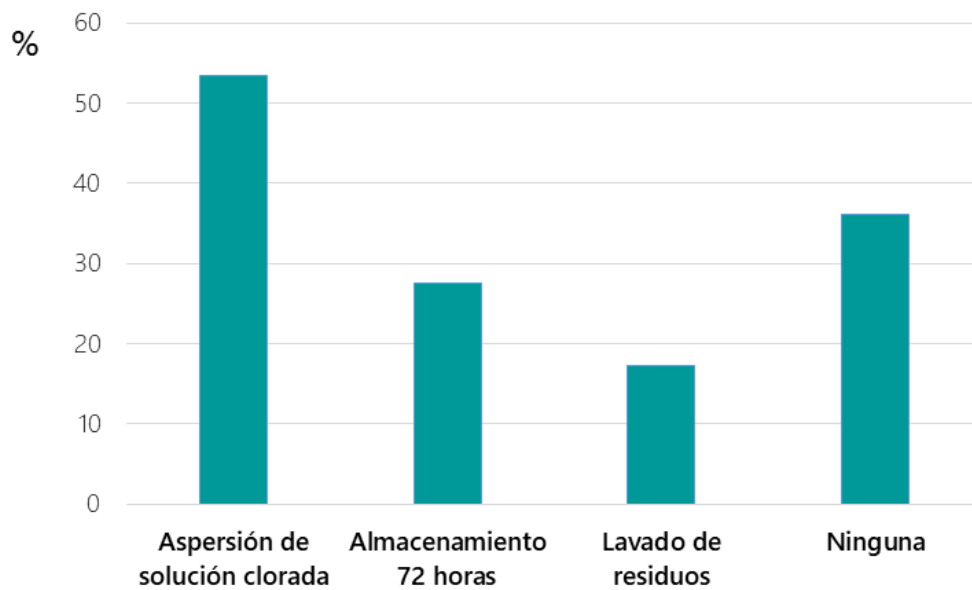


Figura 18. Manejo de residuos de equipo de protección personal en domicilios con casos confirmados o sospecha de COVID

Una condición básica para el manejo adecuado de residuos en condiciones de emergencia es la información oportuna por parte de las autoridades. Sólo el 12 % de los encuestados está consciente de haber recibido indicaciones por parte del gobierno sobre el manejo de los residuos reciclables durante la contingencia. En el 77 % de los casos la instrucción fue mantener la separación de reciclables, mientras que el resto de los casos se enfocó en condiciones específicas de manejo de residuos reciclables o de los potencialmente contaminados con el virus. Por otro lado, sólo el 6% de los participantes recibió indicaciones para el manejo de los residuos del equipo de protección personal.

Los recolectores de residuos constituyen una de las poblaciones potencialmente expuesta a través del manejo de los mismos, por lo que deberían estar interesados de manera directa en el manejo correcto por parte de los generadores. Sin embargo, sólo el 6 % de los participantes recibieron instrucciones específicas al respecto del manejo de reciclables, y 2 % en lo referente al manejo de guantes y cubrebocas usados. En el 60 % de los casos, la indicación fue continuar con la separación de residuos.

En la sección de comentarios generales, el más recurrente fue la queja por falta de información o medidas por parte de las autoridades, aunque también se destacó la importancia del manejo integral de los residuos, como se observa en la Figura 3.

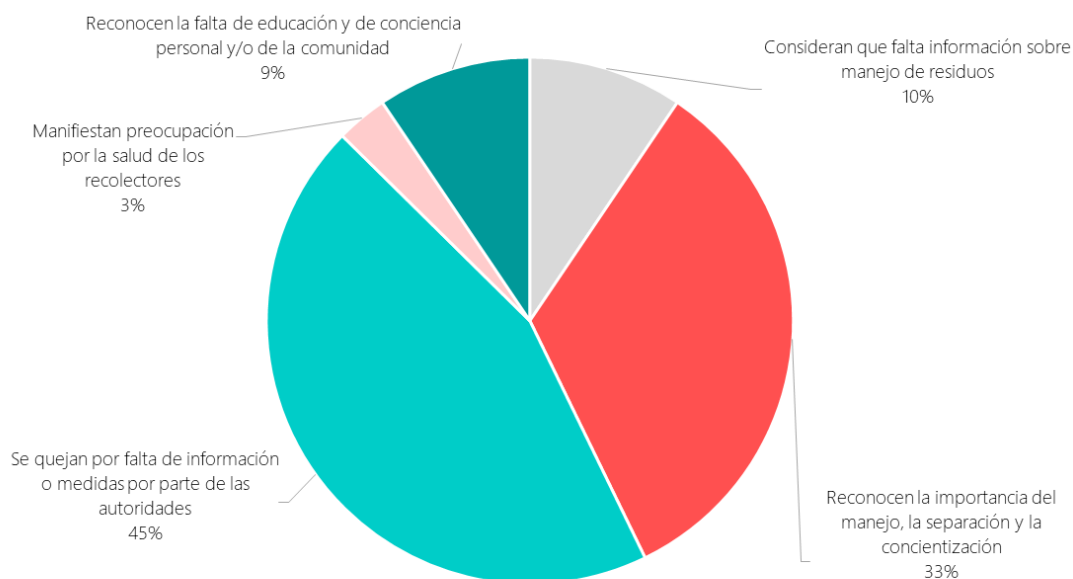


Figura 19. Comentarios generales emitidos por los participantes

4. Conclusiones

390

La aparición del COVID-19 ha afectado todos los aspectos de la vida cotidiana, y el manejo de los residuos domésticos no es la excepción. La encuesta realizada, si bien no es representativa de la población del país, permite identificar situaciones relevantes. A partir de los resultados mostrados puede concluirse que:

- La mayoría de los participantes en la encuesta tienen un nivel educativo alto (licenciatura y posgrado) y cuentan con acceso a internet, por lo que podría asumirse que cuentan con información general sobre el cuidado del ambiente. Esto se ve reflejado en los altos porcentajes que manifiestan realizar la separación de residuos, que aunque pudiesen estar sobre estimados, son significativamente más altos que los valores promedio.
- La pandemia ha generado una disminución en la separación de residuos, basada en la decisión propia de los generadores o, en menor medida, en las instrucciones recibidas.
- En general las autoridades no han brindado información oportuna sobre el manejo de los residuos reciclables o potencialmente biológico-infecciosos durante la contingencia, lo que genera preocupación y descontento en la ciudadanía.

Resulta claro que la grave situación global que se enfrenta debido al COVID-19 era algo difícil de prever, y por lo tanto, se carecía de planes de contingencia para afrontarla. Sin embargo, esta situación puede transformarse en una oportunidad para identificar aquellas áreas que deben atenderse, diseñar programas, estrategias y protocolos que permitan responder de manera rápida y efectiva a estas situaciones. En lo relativo al manejo y separación de residuos, estas medidas permitirían proteger la salud pública, a la vez que se fomenta la recuperación de materiales.

Referencias Bibliográficas

- [1] SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), “Informe de la situación del medio ambiente en México, Edición 2018. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde,” Ciudad de México, 2019.
- [2] Waste 360, “COVID-19 Sparks Downturn in U.S. Commercial Recycling,” *Waste 360*, 2020. .
- [3] K. Bradshaw, “COVID-19 Pandemic Reveals True Importance of Recycling and the Supply Chain,” *Waste 360*, 2020. .
- [4] The Recycling Association, “Coronavirus: the paper trail for recyclers,” *COVID-19 a microorganism with a massive impact. Waste Management World*, Dresdner, p. 11, 2020.
- [5] S. Kahlert and C. R. Bening, “Plastics recycling after the global pandemic: resurgence or regression?,” 2020.
- [6] MSCBS, “Instrucción sobre gestión de residuos domésticos y COVID-19,” Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, España, 2020.
- [7] ISS, “INDICAZIONI AD INTERIM PER LA GESTIONE DEI RIFIUTI URBANI IN RELAZIONE ALLA TRASMISSIONE DELL’INFEZIONE DA VIRUS SARS-COV-2,” 2020.
- [8] SMICTOM, “Las actualizaciones de SMICTOM,” 2020. [Online]. Available: <http://www.smictom.com/index.php/mes-actualites-f/?action=93>. [Accessed: 04-Jun-2020].
- [9] M. Montojo, “¿Cómo está afectando el coronavirus al reciclaje? Consejos para la gestión de los residuos durante la epidemia,” *El diario*, 2020.
- [10] N. Van Doremalen *et al.*, “Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1,” *New England Journal of Medicine*, vol. 382, no. 16. Massachussetts Medical Society, pp. 1564–1567, 16-Apr-2020.
- [11] G. Kampf, D. Todt, S. Pfaender, and E. Steinmann, “Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents,” *Journal of Hospital Infection*, vol. 104, no. 3. W.B. Saunders Ltd, pp. 246–251, 01-Mar-2020.
- [12] SEMARNAT, “Cartilla de Mejores Prácticas para la Prevención del COVID-19 en el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos,” Ciudad de México, 2020.
- [13] WHO (World Health Organization) and UNICEF, “Water, sanitation, hygiene and waste management for the COVID-19 virus,” 2020.
- [14] M. Szczepanski, “COVID-19 Work Practices for Waste, Recycling Workers,” *Waste 360*, 2020. .

Consumo y Residuos Sólidos Urbanos en tiempos de COVID-19 en la Zona Metropolitana de Guadalajara

¹Venegas Sahagún, Beatriz Adriana; ¹Gay Escalante, Ivana

¹ Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, Periférico Norte N° 799, Núcleo Universitario Los Belenes, C.P. 45100, Zapopan, Jalisco, México. +52 (33) 3770 3300 ext. 25733, beatriz.adriana@cucea.udg.mx

Resumen

En este trabajo se expone un análisis preliminar sobre la relación que existe entre el consumo y la generación de residuos sólidos urbanos en tiempos de COVID-19 en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Para llevar a cabo esta investigación se aplicaron un total de 574 encuestas vía electrónica utilizando la plataforma de *google forms*, para el análisis de resultados se utilizó la estadística descriptiva y se realizaron correlaciones con el Coeficiente *V de Cramer*. Como resultados se tiene que la población si bien percibe que ha aumentado su consumo en línea, este no tiene una correlación significativa con la cantidad de residuos que se genera, a pesar de que la mayoría de productos que se compran en internet o vía telefónica vienen sobre empaquetados. Otro punto importante es que el tipo de municipio no es relevante en cuanto al consumo y generación de residuos en época de COVID-19, esto indica que independientemente de donde se habite los resultados son similares. En materia de las medidas adecuadas para la disposición de residuos por parte de la población, esta hace caso omiso de los lineamientos presentados por el gobierno y por lo tanto, pone en riesgo la salud de los trabajadores de recolección.

Palabras Clave: *Residuos Sólidos Urbanos, COVID – 19, municipios, Zona Metropolitana de Guadalajara.*

392

1. Introducción

En los últimos años, los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) han sido un tema importante de tratar tanto a nivel nacional como internacional, debido a que se han convertido en un problema el cual tiene repercusiones ambientales a corto, mediano y largo plazo, así mismo, impacta negativamente a la salud y calidad de vida de la población [1] [2] [3] [4] [5] [6]. De acuerdo con Wilson [7], la salud pública, la protección ambiental, el control de los recursos, los problemas institucionales y de responsabilidad, la conciencia pública y el mercado, han sido elementos clave para posicionar el problema dentro de las agendas políticas.

En el momento actual en el que nos encontramos, inmersos en la Pandemia por COVID-19, la cual fue reconocida como emergencia pública internacional por la Organización Mundial de la Salud el 30 de enero del 2020, ha obligado a los gobiernos a establecer estrategias de confinamiento y por lo tanto aumento en las compras a domicilio. Cabe mencionar que los residuos juegan un papel clave para la propagación del virus, debido a que se ha demostrado que este puede estar activo en las superficies de los materiales por tiempos determinados. Siguiendo estas líneas, diversos países como Nueva Zelanda, España, Argentina, México, entre otros, han generado estrategias y programas para que los gobiernos locales tengan un manejo adecuado de los RSU y así contar con medidas de protección para los mismos trabajadores como para la población en cuestiones de COVID-19.

En México se crea la *Cartilla para Mejores Prácticas para la Prevención del COVID-19 en el Manejo de Residuos Sólidos Urbano*, la cual tiene como objetivo “dictar las modalidades operativas necesarias para la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) bajo el escenario de emergencia sanitaria generado por el síndrome respiratorio agudo severo COVID-19” [8], dentro de este documento, se señala un punto

importante, que es el consumo responsable, es así que el volumen de los RSU generados diariamente depende directamente del consumo responsable. En estas líneas, y acorde con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030, la producción y el consumo sostenible se remarca en el objetivo 12, en donde se persigue cambiar el paradigma actual y poder utilizar y reutilizar materiales los cuales sean amigables con el medio ambiente [9].

A la luz de lo expuesto anteriormente, esta investigación tiene como objetivo realizar un análisis preliminar sobre si los hábitos de consumo y, por lo tanto, la generación de residuos se han modificado en el período de la pandemia por COVID-19 en la Zona Metropolitana de Guadalajara, en el Estado de Jalisco.

1.1 Consumo y residuos

Cabe mencionar que estamos envueltos por la mercadotecnia de los nuevos productos “los consumidores modernos son víctimas de la moda” [10], y actualmente, las plataformas en línea se han vuelto primordiales para las clases media y alta. Sin embargo, cada consumidor tiene la libertad de elegir en dónde comprar su producto y la marca de este ya que los consumidores tienen capacidad de agencia, usualmente limitada por factores económicos. Muchos de los productos adquiridos traen consigo un problema ambiental, ya que al terminar su ciclo de vida útil se vuelven *basura* para quienes los obtuvieron, y tan sólo una minoría de estos productos son reciclados en el país.

Lo anterior permite argumentar que vivimos en una sociedad dirigida por el consumo, en donde el poder adquisitivo se vuelve fundamental para demostrar el nivel socioeconómico de las personas, el cual ha sido estudiado y abordado desde las perspectivas de diversos autores [11][10][12]. De acuerdo con Alonso, somos actualmente una “sociedad de consumo de masas”, en donde la idealización de los países capitalistas occidentales se vuelve un eje rector de nuestra vida diaria [13], y así bienestar es sinónimo de consumo.

Los hábitos de consumo han ido modificándose significativamente de los 50's-60's a la fecha, tal como menciona [14], la sociedad ha cambiado y el consumo de bienes ha demostrado de forma histórica el poder adquisitivo y económico de la sociedad. De acuerdo con Bourdieu, el poder adquisitivo se muestra ya que “las clases populares tienen como principio la elección de lo necesario” [12], esta elección ha cambiado en nuestra sociedad, ya que hablar de lo “necesario” no necesariamente implica cubrir las necesidades básicas, un ejemplo de esto es que en las clases populares pueden llegar a tener celulares de marcas reconocidas y aun así tener problemas económicos para comprar alimento.

El consumo, como ya se comentó se vuelve una prioridad dentro de las agencias internacionales, tal como se menciona en los Objetivos 2030, los patrones de producción y consumo actual son insostenibles, por lo que es necesario el cambiar de paradigma [9], y optar por utilizar medidas ambientalmente amigables. Para lograr lo anterior, se propone una participación conjunta, la cual inicia desde los proveedores y productores hasta el consumidor final.

A nivel internacional, organizaciones realizaron una relación con la cantidad de RSU generada en un país por dólar americano de gasto de consumo en los hogares llamado “Consumo Intensivo de Residuos”, con estos datos pretendían evidenciar a aquellos países con mayor ingreso e índice de consumo. En este tenor, se presentan a continuación los datos del Consumo Intensivo de Residuos de los 10 países que más generan RSU.

Tabla 1. Consumo Intensivo de Residuos a Nivel Internacional

	País	Generación de RSU (Ton/año)	Consumo Intensivo de Residuos (kg/\$ dólar)
1	China	300'000,000	0.1
2	Estados Unidos de América	228'614,990	0.022
3	India	226'572,283	0.219
4	Brasil	62'730,096	0.041
5	Indonesia	59'100,000	0.12
6	Alemania	50'526,031	0.03
7	Rusia	48'256,200	0.053
8	Japón	45'360,000	0.014
9	México	39'385,395	0.05
10	Francia	34'819,245	0.024

Fuente: Elaboración propia con datos de [15]

Acorde a los datos de la tabla anterior, India es el país que más RSU genera por dólar gastado, esto es que por cada dólar que se gasta en este país se generan 219gr de RSU. En México, a diferencia de India, el Consumo Intensivo de Residuos es de 0.05 kg/\$ dólar. Estos datos muestran la relación existente entre el gasto y los RSU. Así mismo, se puede argumentar que el consumo está impactando directamente en la generación de residuos, sin embargo, es necesario comentar que existen productos baratos los cuales generan residuos que son más difíciles de reciclar, como lo es poliestireno expandido, al tener diversos artículos como vasos, platos, bandejas, etcétera.

A nivel nacional, de acuerdo al Informe de la Situación del Medio Ambiente en México elaborado por la SEMARNAT [16] el aumento en la generación de RSU, se debe, entre varios factores al “crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas y el cambio en los patrones de consumo de la población” [16], aunado a esto, sostiene que “en el año 2012 se necesitaban 1.6 planetas con una biocapacidad como la del nuestro para sostener los patrones de consumo[16].

Jalisco es el 3er gran generador de RSU a nivel nacional, justo después de la Ciudad de México y el estado de México, esto debería recaer en la elaboración de estrategias y programas para la minimización y el manejo de los RSU. En este tema, en el año 2016 se iniciaron las reuniones para la elaboración del Programa Estatal para la Gestión Integral de Residuos del Estado de Jalisco, en el cual participaron académicos expertos en el tema, integrantes de asociaciones civiles, empresarios, funcionarios de la Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de Jalisco (SEMADET), funcionarios municipales, entre otros. En estas mesas de trabajo se identificó que el modelo de consumo imperante en nuestra sociedad actual, aunado a la falta de integración de la sociedad en proyectos locales en materia de gestión de RSU, como lo pueden ser campañas de separación, ha ocasionado que la cantidad de RSU aumente, la discusión central para este programa circulaba en torno a dos ejes: moderar el consumo y guiarlo hacia un consumo sustentable y el generar un mercado para productos reciclables. El generar un mercado para productos reciclables fue una observación y petición de los empresarios y dueños de empresas recicladoras, ya que argumentaron que en el mercado actual los productos con material reciclado no eran rentables por no tener una plataforma para su distribución y compra.

Es necesario mencionar que hoy en día es más barato comprar artículos con materiales que no se pueden reciclar, como el hielo seco, por lo que la oferta de los productos a un precio menor resulta más atractiva. Aunado a esto, los productos que están de moda como lo menciona [10], llevan una gran cantidad de basura en cuanto a su empaque y embalaje.

Como ya se mencionó Jalisco se ubica como el tercer estado que más RSU genera, sólo detrás del Estado de México y la ciudad de México, con un rango entre 4,920 y 7,515 ton/día [17]. También es el segundo estado con mayor porcentaje de recolección selectiva con un 40%. El 80% de los residuos va a relleno sanitario y sitios controlados, cerca de un 15% a tiradero a cielo abierto y el resto se desconoce [17].

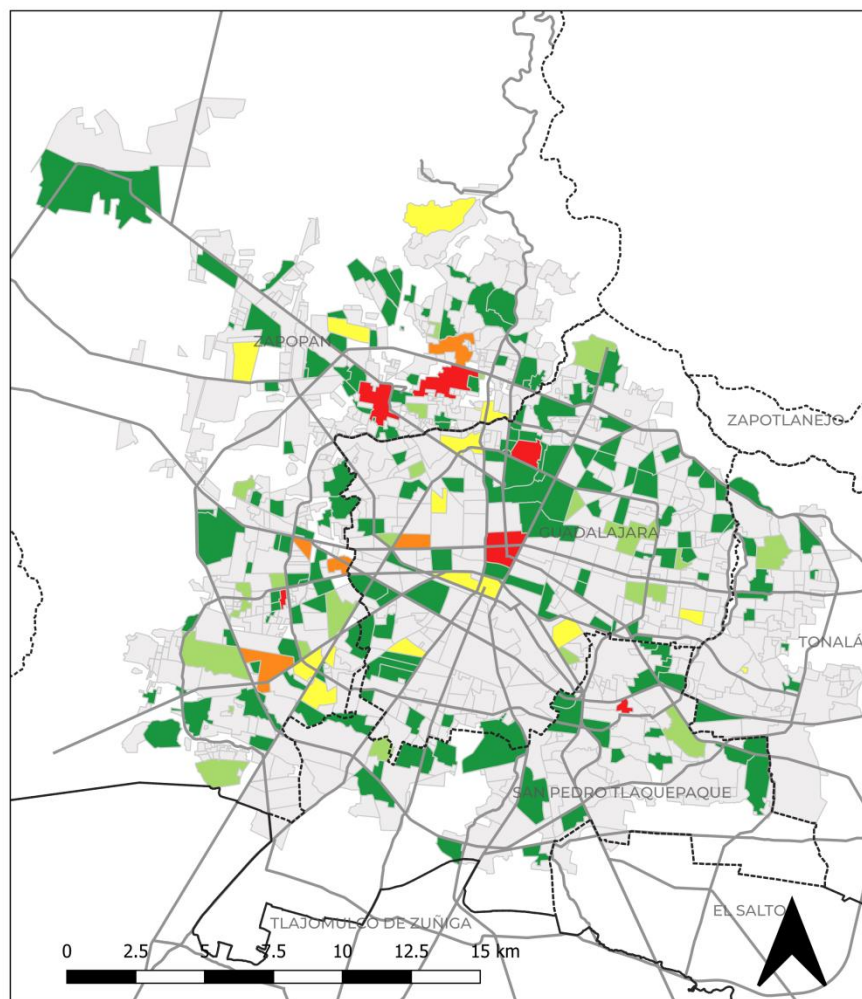
Por su parte, la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), es una de las regiones más importantes del país, tanto por su actividad económica como por el número de habitantes, está integrada por 10 municipios, sin embargo, los más importantes son: Guadalajara, Zapopan, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá, El Salto y Tlajomulco de Zúñiga, estos municipios concentran un total de 4'725,603 habitantes [18].

2. Metodología

Para esta investigación se utilizó una metodología cuantitativa, obteniendo la información base a través del diseño de una encuesta, la cual fue validada por investigadores en la materia. La importancia de las encuestas radica en que se puede registrar una gran cantidad de información en un corto tiempo [19][20], así mismo, los resultados son representativos del total de la población [21][22].

Fue un muestreo aleatorio simple, se aplicaron un total de 574 cuestionarios entre los habitantes de los municipios mencionados, la aplicación se hizo por medio de internet, a través de la plataforma de *google forms*. El número de muestra para población finita con un nivel de confianza del 95% y un error del 5% es de 385 cuestionarios, sin embargo, tal como se mencionó se tuvo más participación de la esperada, aunque cabe señalar que sí hubo sesgo, ya que los que contestaron debían tener acceso a internet y un dispositivo electrónico. En el siguiente mapa se muestra la ubicación espacial de las encuestas aplicadas en la ZMG.

Cabe señalar que no se preguntó, por cuestiones de privacidad y confidencialidad de los datos, si tenían enfermos COVID-19 en su domicilio, ya que cabe destacar que en el momento de la encuesta, en el Estado de Jalisco al 10 de junio del 2020 se tenía un total de 4,944 casos [23], teniendo en este estado un total de población de más de 7 millones de personas.



Simbología

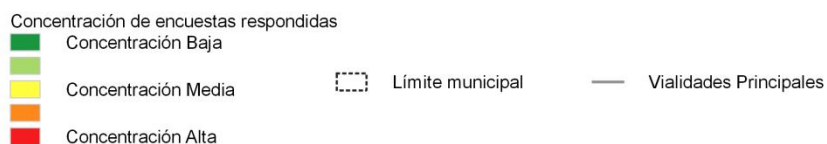


Figura 1. Ubicación de respuesta del cuestionario

El cuestionario se diseñó con un total de 19 preguntas divididas en los siguientes tópicos:

- Hábitos de consumo
- Cantidad y tipo de residuos generados en los hogares
- Formas de disposición de los residuos, en esta categoría se preguntó si se conocían las medidas sanitarias que se sugieren para disponer de la basura en su hogar, independientemente si era la Cartilla de Mejores Prácticas para la Prevención del COVID-19 en el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de SEMARNAT, o de algún otro organismo o institución.
- Valorización de los residuos
- Eficiencia de recolección

Para el procesamiento de resultados se utilizó estadística descriptiva, realizando análisis de correlación con el coeficiente *V de Cramer*, el cual es utilizado para conocer la asociación de las variables nominales cuando sus categorías son de dos o tres clases, este coeficiente se calcula en función de χ^2 y la fórmula es la siguiente [24]:

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{n(k-1)}} \quad (1)$$

Donde $k = \min(I, J)$ y siempre está acotado entre 0 y 1, sea cual sea la dimensión de la tabla. Para tablas $2 \times J$ o $I \times 2$ el valor V coincide con el de θ .

Como un primer análisis se realizaron 9 correlaciones, las cuales son las siguientes:

1. *Municipio y cantidad de productos adquiridos en el hogar en tiempos de COVID-19*
2. *Municipio y productos comprados en internet o por teléfono*
3. *Municipio y frecuencia de compras de productos a domicilio*
4. *Municipio y percepción sobre aumento de compras a domicilio*
5. *Municipio y separación de los residuos en el hogar*
6. *Municipio y cantidad de residuos en el hogar en época por COVID*
7. *Municipio y conocimiento sobre medidas sanitarias que se sugieren para disponer de la basura en su hogar*
8. *Ingresos y consumo a domicilio*
9. *Consumo a domicilio y aumento de residuos generados en el hogar*

3. Resultados y discusión

397

Como se mencionó anteriormente, esta investigación se realizó en la ZMG, en específico en los municipios de Guadalajara, Zapopan, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá, El Salto y Tlajomulco de Zúñiga.

A continuación, se presenta una tabla en donde se muestra la descripción de los sujetos estudiados.

Tabla 2. Datos generales de la encuesta

Variable	Resultado
Género	Hombre: 32.6% Mujer: 67.2% Otro: 0.2%
% de respuestas por Municipio	Guadalajara: 31.2% Zapopan: 44.1% San Pedro Tlaquepaque: 10.3% Tonalá: 3.3% El Salto: 1.2% Tlajomulco de Zúñiga: 9.9%
% de respuestas por ingreso mensual en hogares	Menos de \$5,000.00: 8.9% Entre \$5,000.00 y \$10,000: 18.1% Entre \$10,000 y \$15,000: 20.9% Entre \$15,000 y \$20,000: 34.5% Mayor de \$20,000: 17.6%

Como se puede observar en la tabla anterior, la mayoría de las respuestas fue de mujeres, sin embargo, varias preguntas estaban dirigidas a lo que pasaba en el hogar y no eran preguntas individuales. Así

mismo, habitantes de los municipios de Zapopan y Guadalajara fueron los que más contestaron, esta representación es acorde a la cantidad de habitantes por municipio, sin embargo, sí existe un sesgo debido a que la forma de aplicarse fue con el método de bola de nieve.

Antes de pasar a los resultados de las correlaciones, a continuación, se presentan las respuestas más destacadas acorde a la estadística descriptiva.

En la siguiente figura se puede observar que la mayoría de los encuestados refirió que ha aumentado su consumo, ya que ha adquirido más productos,

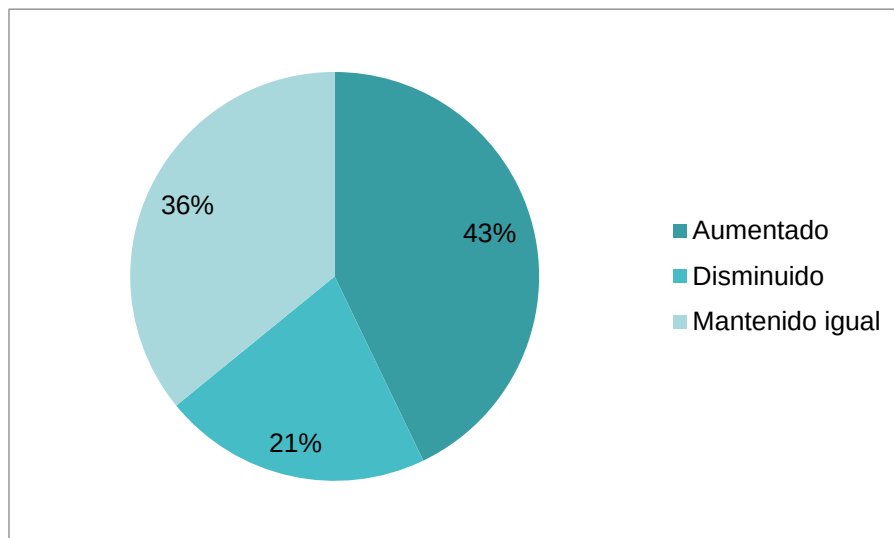


Figura 2. ¿Durante la restricción impuesta por COVID 19, consideras que la cantidad de productos adquiridos en el hogar?

La figura anterior tiene relación con las compras realizadas por internet o por teléfono, lo cual se puede apreciar en el siguiente histograma, en donde se puede observar un incremento en las compras en línea.

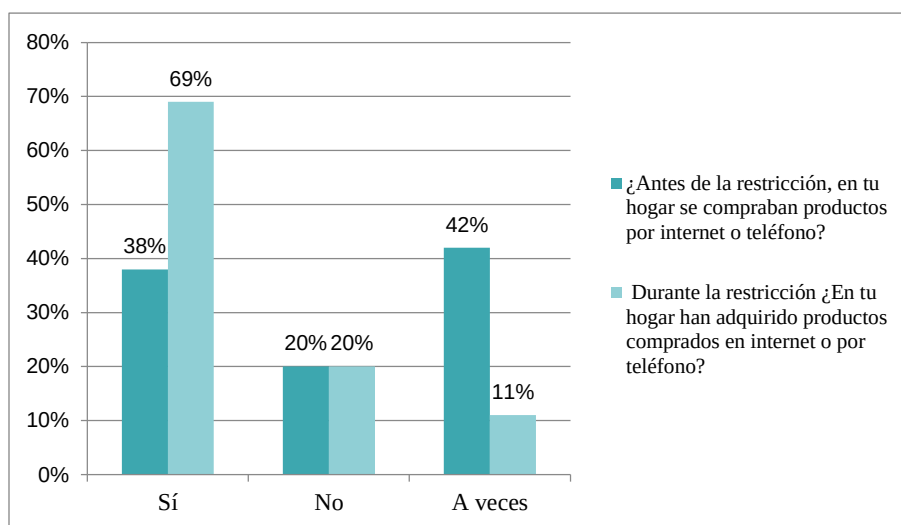


Figura 3. Comparativo entre la compra de productos por internet o por teléfono antes y después de las restricciones por la pandemia por COVID-19

Las compras en línea aumentaron, lo cual tiene relación con las medidas de restricción llevadas a cabo a nivel estatal.

Entre los residuos que más se generan en el hogar, los resultados fueron los siguientes, siendo los residuos de comida/jardinería los que más se generan, seguidos de plásticos, textiles y otros.

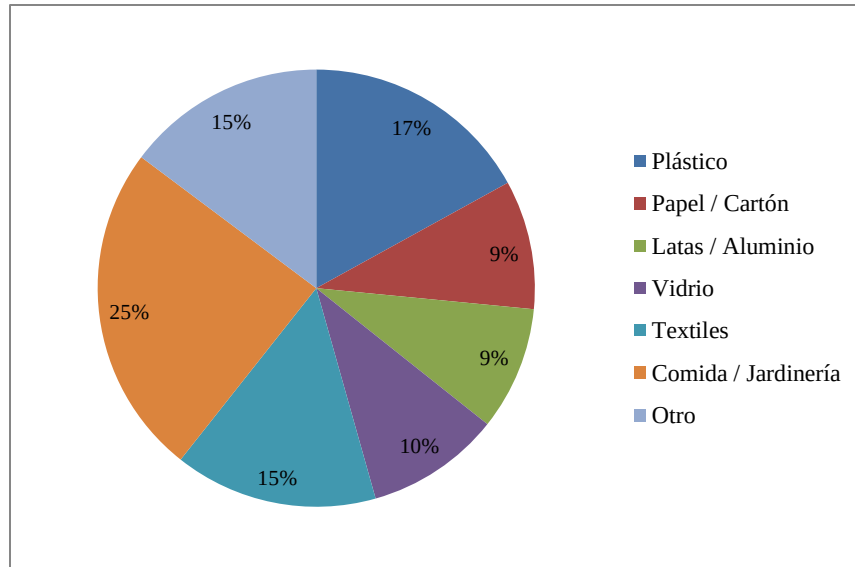


Figura 4. Tipo de residuos identificado como el principal generado en los domicilios

Los resultados anteriores también se analizaron por municipio, quedando como sigue:

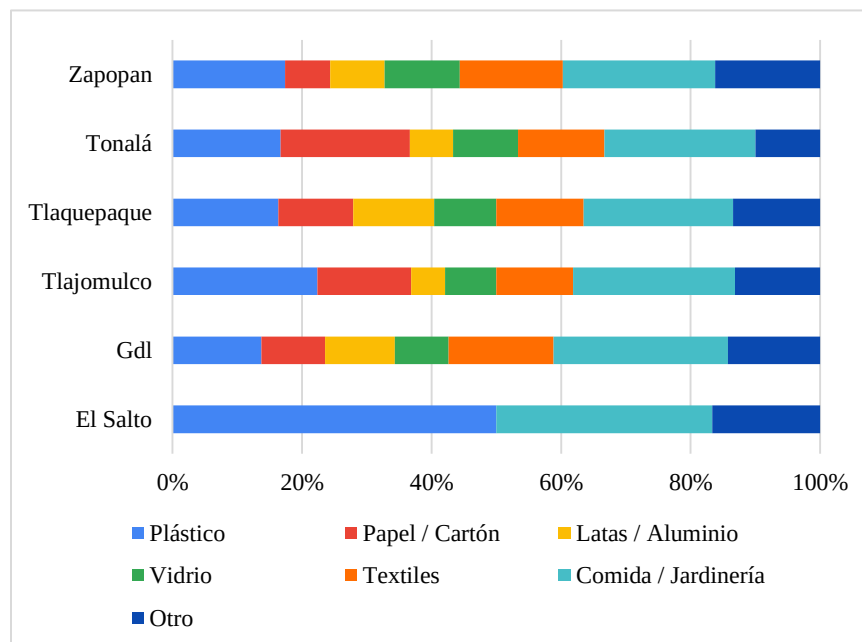


Figura 5. Tipo de residuo identificado como principal por municipio

El único municipio que difiere de los resultados es el municipio de El Salto, en donde la mayoría de residuos es plástico, seguido de comida y otros.

Aunado a las gráficas anteriores, en este análisis previo se realizaron correlaciones para hacer la distinción entre los resultados de los municipios, estos fueron los datos obtenidos.

Tabla 3. Resultado de las correlaciones con el coeficiente V de Cramer

Variables	Resultado de coeficiente de correlación V Cramer
1. Municipio y cantidad de productos adquiridos en el hogar en tiempos de COVID-19	0.099618374
2. Municipio y productos comprados en internet o por teléfono durante período COVID-19	0.132247867
3. Municipio y frecuencia de compras de productos a domicilio	0.104584105
4. Municipio y percepción sobre aumento de compras a domicilio en periodo COVID-19	0.113756662
5. Municipio y separación de los residuos en el hogar	0.128150286
6. Municipio y cantidad de residuos generados en el hogar en época por COVID	0.055425665
7. Municipio y conocimiento sobre medidas sanitarias que se sugieren para disponer de la basura en su hogar	0.140709543
8. Ingresos y consumo a domicilio	0.195634507
9. Consumo a domicilio y aumento de residuos generados en el hogar	0.355490309

Como se puede observar, son correlaciones no significativas, ya que en su mayoría están cercanas a 0. La correlación más alta fue entre el consumo y residuos, que es la correlación nueve, sin embargo, se puede argumentar que la población no percibe que hay una relación entre su consumo y el aumento en la generación de residuos. Así mismo, las demás variables no impactan en cuanto al municipio, por lo que se puede argumentar hasta este momento, que el municipio como tal no es una variable de influencia.

Por último, un punto importante es conocer si la población está informada sobre las medidas sanitarias que deben tomar a la hora de sacar sus residuos para que el camión los recolecte, ante esto se realiza una gráfica comparativa entre si conocen las medidas y si las aplican.

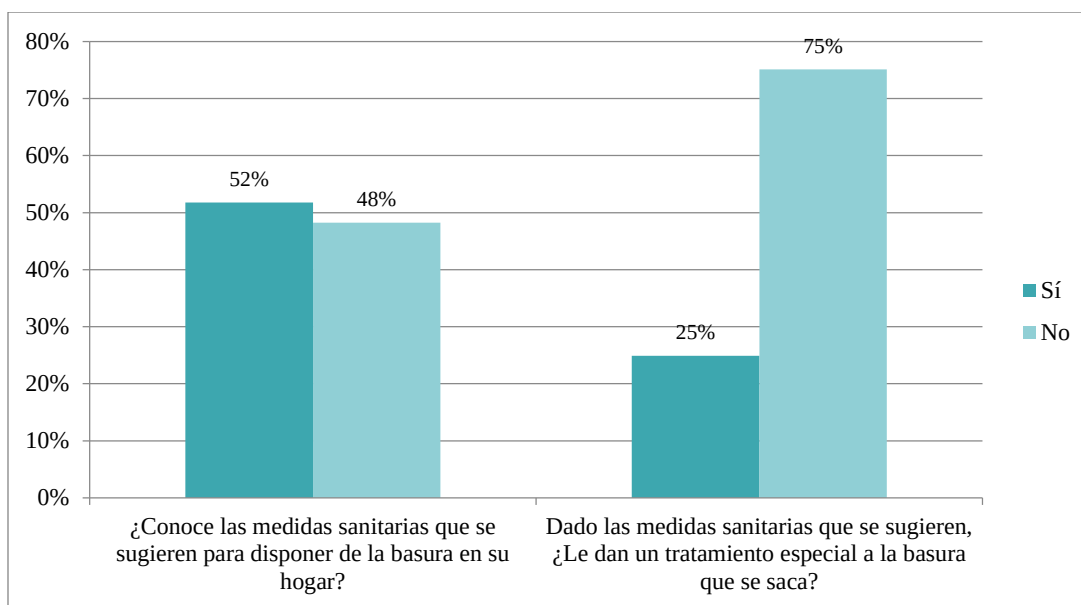


Figura 6. Comparación entre si se conocen las medidas sanitarias para disponer residuos y si se aplican algunas

Aproximadamente más de la mitad de la población conoce las medidas sanitarias que se sugieren para disponer la basura en tiempos de COVID-19, sin embargo, el 75% de los encuestados no aplica ninguna de las medidas, lo que sugiere que la población no está informada y por ende no realiza estas acciones.

401

4. Conclusiones

Este documento tuvo el objetivo de presentar un análisis preliminar sobre la relación entre el consumo y la generación de residuos en tiempo de COVID-19, cabe señalar que un tema importante dentro de los cuestionarios aplicados fue sobre las estrategias de sanitización de los residuos antes de su disposición por parte de la población. Este último punto resulta crucial, ya que aunque la oficina sobre asuntos de seguridad y salud en Estados Unidos, *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) menciona que aunque el riesgo para los trabajadores no es muy alto, estos deben estar alerta y seguir las prácticas de seguridad recomendadas para salvaguardar su salud [25], aunado a esto, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) emitió una serie de recomendaciones para el manejo de residuos sólidos, en donde se incluyen las acciones que se deben llevar a cabo por parte de la población [26], y tal como se presentó en la sección de resultados, la población de la ZMG se muestra indiferente ante la aplicación de estas medidas.

Siguiendo con las líneas anteriores, el hecho de que la población encuestada no esté informada, y a pesar de que organismos internacionales como la OSHA considera que el riesgo para los trabajadores no es muy alto, la exposición de los trabajadores de limpia y recolección, así como de los pepenadores es alto, ya que se ha demostrado que el virus, dependiendo de la superficie, puede perdurar por cierto período de tiempo, lo que lleva a hablar de la importancia de que la población tome una postura de responsabilidad a la hora de disponer de sus residuos para que sean recolectados. Aunado a lo anterior, falta mayor comunicación por parte de las instituciones gubernamentales para socializar las medidas que la población debe tomar para disponer de sus residuos, en este caso se deberían realizar campañas, similares a la realizada sobre el uso de cubrebocas, para llegar a la mayor parte de la población.

Como se aprecia en las correlaciones, el tipo de municipio no es relevante en cuanto al consumo y generación de residuos en época de COVID-19, esto indica que independientemente de donde se habite

los resultados son similares. Es así que en futuros análisis se trabajará correlaciones con las variables independientes de grupos de edad e ingresos, ya que estas dos variables pueden tener un impacto más directo tanto en las compras en línea como en la generación de residuos.

Por último, es interesante remarcar que el tema de residuos sólidos urbanos en esta temporada de pandemia se vuelve un tema crucial e importante tanto en materia de salud pública como en materia de gestión local, lo anterior debido a que es un servicio público importante para la población, y la falta de este trae problemas sociales. Sin embargo, a pesar de esta importancia, la población no lo valora, y por lo tanto no toma las medidas necesarias para proteger a los trabajadores que brindan este servicio.

Referencias Bibliográficas

- [1] Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: a global review of solid waste management*.
- [2] Van Beukering, P., Sehker, M., Gerlagh, R., & Kumar, V. (1999). *Analysing urban solid waste in developing countries: a perspective on Bangalore, India*. Collaborative Research in the Economics of Environment and Development.
- [3] Costi, P., Minciardi, R., Robba, M., Rovatti, M., & Sacile, R. (2004). An environmentally sustainable decision model for urban solid waste management. *Waste Management*, 24(3), 277-295.
- [4] Ogonna, D. N., Amangabara, G. T., & Ekere, T. O. (2007). Urban solid waste generation in Port Harcourt metropolis and its implications for waste management. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 18(1), 71-88.
- [5] 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.
- [6] McDougall, F. R., White, P. R., Franke, M., & Hindle, P. (2008). *Integrated solid waste management: a life cycle inventory*. John Wiley & Sons.
- [7] Wilson, D. C. (2007). Development drivers for waste management. *Waste Management & Research*, 25(3), 198-207.
- [8] Gobierno de México (2020) *Cartilla para Mejores Prácticas para la Prevención del COVID-19 en el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos*. Consultado el 03 de junio del 2020. Disponible en <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/cartilla-para-mejores-practicas-para-la-prevencion-del-covid-19-en-el-manejo-de-residuos-solidos-urbanos>
- [9] CEPAL, N. (2018). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
- [10] Appadurai, A. (Ed.). (1991). *La vida social de las cosas: perspectiva cultural de las mercancías*. Grijalbo.
- [11] Baudrillard, J. (1979). *El sistema de los objetos* (trad. Francisco González Aramburu). México, DF: Siglo Veintiuno Editores.
- [12] Bourdieu, P. (1988). *La distinción*. Madrid: Taurus. Traducción de Elvira, M. D. C. R
- [13] Alonso, L. E. (2005). *La era del consumo*. Madrid: Siglo XXI.
- [14] McCracken, G. (1988) *Culture and consumption*. USA: Indiana University Press.
- [15] Waste Atlas (2017). *Map*. D-Waste, ISWA, WtERT, SWEEP-Net, SWAPI y University of Leeds. Consultado el 17 de mayo de 2018. Disponible en <http://www.atlas.d-waste.com/>

- [16] SEMARNAT (2016) *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015.*
- [17] INECC. (2012). *Diagnóstico básico para la gestión de residuos: versión extensa.* (Basic diagnosis for waste management: extended version).
- [18] INEGI. (2016a). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Módulo 6 Residuos Sólidos Urbanos. Retrieved 15 February 2017, from <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/censosgobierno/municipal/cngmd/2015/>
- [19] De Feo, G., & De Gisi, S. (2010). Public opinion and awareness towards MSW and separate collection programmes: A sociological procedure for selecting areas and citizens with a low level of knowledge. *Waste Management*, 30(6), 958-976.
- [20] Patton, M. Q. (1990). *Qualitative evaluation and research methods*. SAGE Publications, inc.
- [21] Kothari, C. R. (2004). *Research methodology: Methods and techniques*. New Age International.
- [22] Krosnick, J. A. (1999). Survey research. *Annual review of psychology*, 50(1), 537-567.
- [23] Gobierno de México (2020) COVID-19 México. Consultado el 09 de julio del 2020 Disponible en: <https://coronavirus.gob.mx/datos/#DownZCSV>
- [24] Riera, M. V. A. (2001). *Estadística con SPSS v. 10.0* (Vol. 226). Edicions Universitat Barcelona.
- [25] OSHA (2020) Solid Waste and Wastewater Management Workers and Employers. Consultado el 05 de junio del 2020. Disponible en <https://www.osha.gov/SLTC/covid-19/solid-waste-wastewater-mgmt.html>
- [26] OPS (2020) Recomendaciones para la gestión de residuos sólidos, 11 de mayo del 2020. Consultado el 05 de junio del 2020. Disponible en <https://www.paho.org/en/documents/covid-19-recommendations-management-solid-waste-11-may-2020>

Tripulación de vehículos recolectores de residuos sólidos urbanos en la Ciudad de México: fuentes potenciales de contagio del SARS-CoV-2 entre sí y de o hacia la población

¹Luis Raúl Tovar Gálvez, ²Claudia Rodríguez Tapia, ¹María Eugenia Gutiérrez Castillo, ¹María Guadalupe Peláez Gálvez

¹ 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, 07340 GAM, CDMX. Tel. 57296000-52716 ltovarg@ipn.mx

² Unidad Profesional Interdisciplinaria en Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional

Resumen

Este proyecto se presentó a la convocatoria 2020-1: Apoyo para proyectos de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación en salud ante la contingencia por COVID-19, emitida por la Dirección Adjunta de Desarrollo Tecnológico, Vinculación e Innovación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y fue aprobado. Lo que se pretende es describir el trabajo de un grupo social que está enfrentando la pandemia sin saberlo, reciben mezclados los residuos sólidos urbanos de la población, en algunos casos residuos peligrosos biológico infecciosos de enfermos de COVID-19 que se recuperan en sus domicilios o que fallecieron, exploramos la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013, que establece los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del Distrito Federal y la NOM-087-SEMARNAT-SSA1 2002 Protección Ambiental-Salud Ambiental- Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos-Clasificación y Especificaciones de Manejo. La separación de residuos sólidos urbanos en fuente por parte de la ciudadanía sería en su beneficio y evitaría poner en riesgo a las cuadrillas que acompañan al chofer del vehículo recolector al reducir el contagio del SARS-CoV-2 entre la población y estaremos como sociedad mejor preparados para el rebrote que posiblemente pronto llegue.

Palabras Clave: *Separación en fuente, residuos sólidos urbanos, residuos peligrosos biológico-infecciosos, NADF-24, NOM-087*

1. Introducción

En la Ciudad de México (CDMX) se generan alrededor de 13,000 ton/día de RSU que incluyen 1,300 ton/día, provenientes del Estado de México entrando a la CDMX de una manera subrepticia. Las diez y seis alcaldías son las responsables de la recolección de los RSU y de manejo especial generados en los hogares, mercados o comercios que se producen en cada alcaldía [1, 2]. Para llevar a cabo esta recolección los 365 días del año, la CDMX cuenta con una flota vehicular de 2,652 vehículos recolectores que recorren 1,836 rutas cubriendo 1,836 colonias y cuatro pueblos aledaños a la CDMX. En cada vehículo va el operador de la unidad, que es el único contratado por el gobierno de la CDMX y una cuadrilla de 4 a 5 personas, usualmente voluntarios y su manera de sobrevivir es separar inmediatamente los RSU que reciben, recuperar lo reusable o reciclable y venderlo. El número de personas que diariamente realizan estas actividades es de aproximadamente 13,300, principalmente del género masculino, en esta pre-pepena recuperan diariamente 1,691 ton/día [2]. Estas personas no guardan la sana distancia, el lavado de manos con jabón por 20 segundos repetidas veces al día no lo pueden hacer, no tienen cubrebocas, no cuentan con guantes ni lentes y el confinamiento en sus hogares tampoco lo pueden poner en práctica. Si a esto se añade, que los contagiados por el virus del síndrome respiratorio agudo severo coronavirus-2 (SARS-CoV-2) que padecen de COVID-19 y que acudieron al hospital pero que fueron enviados a sus casas o

desde el inicio del contagio prefirieron quedarse en sus casas y arrojan sus residuos peligrosos biológico-infecciosos (RPBI) al cesto donde la familia tira sus RSU diariamente, la probabilidad de que la tripulación de trabajadores que acompañan al operador del vehículo recolector se contagien con estos RPBI es muy alta, con el consecuente contagio a sus familiares e incluso a la ciudadanía que acude al vehículo recolector para entregar sus RSU. Este contagio posiblemente ya esté ocurriendo en la CDMX, a pesar de las acciones que se proponen en la “Cartilla de mejores prácticas para la prevención del COVID-19 en el manejo de los residuos sólidos urbanos” [3].

El objetivo de este estudio es desarrollar la estrategia para recuperar el programa de separación en fuente que la CDMX implantó en 2011 y que duró hasta 2016, pero considerando la “nueva normalidad”, ya que en caso de que los RSU no se separen en fuente, muy posiblemente contengan el SARS-CoV-2 proveniente de los RPBI generados por los enfermos con COVID-19.

2. Metodología

Se pretende hacer un seguimiento en la alcaldía Gustavo A. Madero durante 2 meses a 8 vehículos recolectores en los que proveeremos diariamente a sus tripulaciones de equipo de protección personal i.e., cubrebocas, mascarillas, guantes, gel desinfectante para las manos, asperjador de 300 ml con sanitizante y desinfectante para los RSU que reciban, así como bolsas de polietileno de alta densidad con el símbolo de RPBI que las cuadrillas del vehículo recolector repartirán entre la ciudadanía para que en éstas depositen sus RPBI. Interactuaremos con la población que entrega sus RSU a estos vehículos recolectores, explicando los beneficios de separar los RSU en fuente y seguiremos estos vehículos recolectores hasta la estación de transferencia de San Juan de Aragón (ETSJA). Por otro lado, se medirá la composición de la vertiente de RSU que entra furtivamente y diario a la CDMX del estado de México, haciendo énfasis en la presencia de RPBI, la composición de esta vertiente a la fecha se desconoce. En la ETSJA seguiremos la ruta de los RPBI que llegan a la misma y su disposición final, ya sea incineración o relleno sanitario. Finalmente, determinaremos el poder calorífico superior de varias muestras de RPBI [4], previamente desinfectadas, así como de combustibles derivados de residuos que se destinan a los hornos cementeros. Las posibles fuentes de contagio para la tripulación de los vehículos recolectores se deben a que la supervivencia del SARS-CoV-2 en aerosoles que son producidos al toser o estornudar por una persona contagiada permanecen en la atmósfera hasta por 3 hr, en el caso de superficies de plástico y de acero inoxidable persisten hasta por 3 días en contraste, se observaron menos cargas virales en cartón y en superficies de cobre [5]. En otro estudio en el que se realizó una revisión de la literatura el SARS-CoV-2 persiste en superficies metálicas, vidrio y plástico hasta por 9 días, aunque puede ser inactivado con soluciones acuosas de etanol al 65%, agua oxigenada al 0.5% e hipoclorito de sodio al 0.5% [6].

3. Resultados y discusión.

Las cuadrillas que acompañan al operador del vehículo recolector deben de estar protegidos contra el SARS-CoV-2 esta estrategia protegerá a la población del contagio por la presencia de RPBI en los RSU que se generan en la CDMX. La separación en fuente, si se lleva a cabo de una manera rigurosa, beneficiará incluso las finanzas de la CDMX.

Modificar la NADF-24-AMBT-2013 para que haya un manejo adecuado de los RPBI hará que la salud de la ciudadanía, de las cuadrillas que recolectan los RSU y del personal de las estaciones de transferencia no se ponga en riesgo.

Ya que la Secretaría de Salud no ha definido con exactitud el pico de la pandemia en la CDMX, el intento de combatir el SARS-CoV-2 entre los trabajadores de limpia que se encuentran

inadvertidamente en la línea de fuego de otro frente de esta batalla, requerirá la participación de la población a la que se informará para que tome conciencia y cumplir por motu proprio con la NADF-24-AMBT-2013. Esta norma establece de manera obligatoria para los habitantes de la CDMX separar sus RSU en cinco fracciones: 1) orgánicos (residuos sólidos biodegradables); 2) inorgánicos reciclables (materiales para reúso y reciclaje); 3) inorgánicos no reciclables; 4) residuos de manejo especial y voluminosos y 5) residuos peligrosos provenientes de fuentes distintas a los establecimientos comerciales, industriales o de servicios. La norma deberá modificarse y se añadiría en la fracción 5 los RPBI que generan los enfermos de COVID-19 que se quedan en cuarentena en su domicilio o que ahí fallecen y que contagian a sus familiares, estos RPBI deberán de colocarse en una bolsa de polietileno de baja densidad resistente, en la medida de lo posible, a objetos punzocortantes con el símbolo de RPBI (NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002) y entregar sus cuatro fracciones al Servicio Público de Limpia y aparte los residuos de manejo especial.

4. Conclusiones

La modificación de la NADF-24-AMBT-2013, de funcionar en la CDMX, puede adaptarse a otros estados del país con los beneficios de la separación en la fuente de RSU y contribuir a reducir los efectos de la pandemia.

Por otro lado, el seguimiento de los RPBI desde su generación hasta su incineración o disposición final en un relleno sanitario permitirá establecer estrategias para evitar el contagio del SARS-CoV-2 entre las cuadrillas de los vehículos recolectores y la población.

La composición de la vertiente de RSU que entra diariamente del estado de México a la CDMX, dará pistas para valorizarlos antes de su disposición final. El poder calorífico superior de los RPBI y de los inorgánicos no reciclables, como combustible derivado de residuos, son opciones distintas al relleno sanitario o incineración en el caso de RPBI, si hubiese evidencia de su desinfección.

Agradecimientos

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología apoyó este proyecto.

Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaría del Medio Ambiente, 2018. Inventario de residuos sólidos de la Ciudad de México.
- [2] Orta Ledesma M.T., Saucedo Castañeda y Tovar Gálvez L.R., 2014. Composición y generación de residuos sólidos urbanos de la Ciudad de México durante 20008-2009. Incluye los generados en la Central de Abasto del D.F. 2ª Edición, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
- [3] SEMARNAT, abril de 2020. Cartilla de mejores prácticas para la prevención del COVID-19 en el manejo de los residuos sólidos urbanos, primera edición.
- [4] Norma Mexicana NMX-AA-33-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación del poder calorífico superior.
- [5] van Doremalen N., Morris D.H., Holbrook M.G., Gamble A., Williamson B.N., Tamin A., Harcourt J.L., Thornburg N.J., Gerber S.I., Lloyd-Smith J.O., de Wit E., Munster V.J. (2020) Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. New Engl J of Med. DOI: 10.1056/NEJMc2004973
- [6] Kampf G., Todt D., Pfaender S., Steinmann E. (2020) Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. J. Hosp Infect 104 246-251. doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022

Acciones implementadas en Mérida, Yucatán para salvaguardar la salud del personal dedicado al manejo de residuos durante la contingencia sanitaria causada por COVID-19

Ricardo Herbé Cruz Estrada, Carlos Vidal Cupul Manzano, Javier Guillén Mallette

Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. Unidad de Materiales, Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Chuburná de Hidalgo; CP 97205, Mérida, Yucatán, México; Tel : (52) 999 942 83 30. rhcruze@cicy.mx

Resumen

El presente trabajo es una breve revisión sobre las acciones implementadas en Mérida, Yucatán para proteger a las personas que proporcionan el servicio de recolección de residuos durante la contingencia sanitaria causada por COVID-19. Para los fines de este trabajo, se realizó una revisión detallada de la información disponible sobre el tema a la fecha, consultando notas periodísticas publicadas en la internet, así como las páginas web oficiales de algunas de las empresas que prestan el servicio de recolección de residuos. De esta revisión se concluye que las autoridades municipales han hecho esfuerzos para implementar acciones de protección a las personas que proporcionan el servicio de recolección de residuos. Sin embargo, no se encontró información sobre acciones encaminadas al establecimiento de protocolos especiales para el manejo de residuos en el interior del relleno sanitario de Mérida. Así mismo, se encontró información sobre acciones implementadas por empresas registradas oficialmente que proporcionan el servicio de recolección, pero no sobre acciones encaminadas a proteger la salud de los recolectores informales. En este caso, se propone que las autoridades municipales identifiquen quienes se dedican a esta actividad con la finalidad de proporcionarles los insumos necesarios de protección, tales como cubrebocas, caretas, guantes, solución sanitizante y vestimenta adecuada de protección; así como capacitación sobre el manejo adecuado de residuos durante la contingencia sanitaria por COVID-19.

407

Palabras Clave: COVID-19, recolectores de residuos, equipo de protección personal, protocolos de manejo de residuos.

1. Introducción

A mediados de mayo de 2020, se confirmó que más de 4.5 millones de personas habían sido infectadas por el virus coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19) y alrededor de 300,000 personas habían muerto a causa de este virus en el mundo. Además, los casos confirmados no se han reducido en absoluto en el mundo, sino que COVID-19 se está extendiendo rápidamente en África y Sudamérica. Para protegerse del contagio por COVID-19, los métodos más efectivos son la higiene frecuente de manos, mantener una distancia social estricta y usar una máscara facial o careta protectora. Entre ellos, el método más efectivo es usar una careta protectora [1].

Con relación a la generación de desechos en las instalaciones de atención médica, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha propuesto una guía para controlar la propagación de COVID-19. Sin embargo, también debe prestarse atención a la gestión de residuos fuera de las instalaciones médicas, teniendo en cuenta factores como la resistencia del virus, las diferencias en los sistemas de gestión de residuos y las condiciones climáticas en cada región afectada. Los pacientes infectados por COVID-19 que se tratan en el hogar están generando desechos infectados, posiblemente descartados como desechos domésticos, que pueden presentar riesgos para los trabajadores que proporcionan el servicio de recolección y el medio ambiente, dependiendo de las condiciones de transporte y eliminación. En particular, la propagación de COVID-19 puede incrementarse por una gestión inadecuada de los residuos,

destacando las malas condiciones de manejo asociadas con el uso inapropiado de equipos de protección personal y otras condiciones desfavorables que se presentan principalmente en países en vías de desarrollo [2].

Por otro lado, se ha reportado que como consecuencia de la propagación de COVID-19 el reciclaje está siendo afectado por el confinamiento social, pero que algunos países buscan continuar con la actividad a través de los recuperadores urbanos y con las medidas de protección adecuadas, mientras que en otros, las actividades están completamente detenidas, dificultando la recuperación de materiales, y como consecuencia, aumentando la cantidad de residuos que terminarán en los rellenos sanitarios, sitios de disposición final o centros de acopio [3].

El 15 de junio de 2020 se reportó que México está entre los 10 países con más casos nuevos de COVID-19 registrados por día y entre los cinco primeros por registros nuevos de fallecimientos por jornada, de acuerdo con datos de la OMS [4]. En Yucatán, la cifra de contagios crece día a día. El 22 de junio de 2020, las autoridades de salud reportaron 95 nuevos contagios para dar un total de 3,191 casos de COVID-19 y 379 defunciones a causa del virus, reportados hasta esa fecha [5]. En Mérida, el panorama no parece mejorar, pues concentra las cifras más altas en Yucatán desde el inicio de la pandemia (de los 95 nuevos contagios, 80 de ellos se registraron en la capital yucateca) [6].

Ante lo anteriormente expuesto, es evidente que las autoridades, al igual que la sociedad, debe contribuir con acciones que protejan a las personas que proporcionan el servicio de recolección de residuos, y por ende a la población en general. Es por eso que, en este trabajo presentamos una revisión breve de lo que se ha hecho al respecto a la fecha.

2. Metodología

Para los fines de este trabajo, la metodología que se siguió fue revisar con detalle la información disponible sobre el tema, consultando notas periodísticas publicadas en la internet, así como en páginas web oficial de algunas de las empresas que prestan el servicio de recolección de residuos. Se tuvo mucho cuidado en analizar que los sitios web consultados fueran confiables. Para este fin, se utilizó el buscador de Google. El criterio de búsqueda y selección de información fue por tema, en este caso, ingresando en el buscador palabras clave tales como “manejo de residuos Mérida covid-19”. Al ingresar las palabras clave, el buscador organiza la información por directorios temáticos y despliega un listado de subtemas que contienen una o todas las palabras clave ingresadas. La selección de la información a consultar se realizó analizando preliminarmente el contenido del resultado de la búsqueda, es decir, observando si todas las palabras clave ingresadas estaban o no en la información proporcionada. Si todas las palabras clave estaban presentes, entonces se analizaba con detalle la información, poniendo especial atención en que los datos fueran coherentes y estuvieran relacionados con el tema investigado. Si no se cumplía esa condición, entonces se descartaba la información y se analizaba la siguiente en la lista desplegada hasta obtener la información apropiada.

3. Resultados

3.1 Acciones implementadas por el ayuntamiento

El Ayuntamiento de Mérida anunció que las actividades y recorridos del Punto Verde Móvil se suspendían hasta nuevo aviso (Figura 1) [7]. El Programa Puntos Verdes es un componente de la Estrategia Basura Cero del Ayuntamiento de Mérida, enfocado al fomento de la cultura de la separación, reciclaje y la correcta disposición de los residuos de manejo especial y peligrosos domiciliarios; y así promover la economía circular en la ciudad de Mérida.

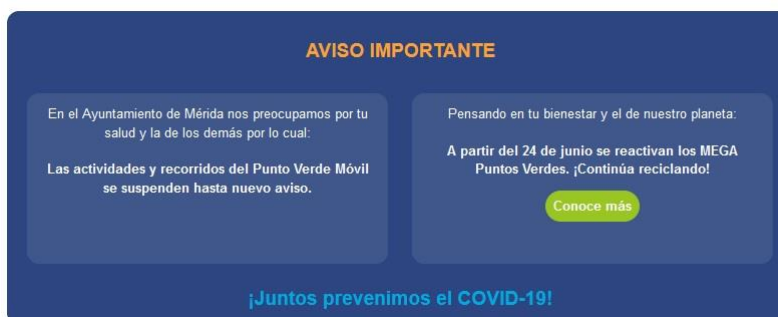


Figura. 1. Anuncio de suspensión de actividades y recorridos del Punto Verde Móvil [7]

La autoridad municipal exhortó a la población a no continuar sacando basura a las calles [8]. Las cuadrillas municipales estuvieron desplegando una actividad intensa para recolectar cacharros que permanecen en las calles, a fin de evitar que se conviertan en criaderos de moscos u otros insectos, pero fue necesario recordar a la ciudadanía que la campaña de descacharrización (Figura 2) ya había terminado y que no deberían sacar más objetos a la vía pública. Esta estrategia, se llevó a cabo tras concluir la primera Campaña Emergente de Descacharrización 2020 que se puso en marcha luego del paso de la tormenta tropical “Cristóbal” para eliminar posibles criaderos de moscos y contribuir a proteger la salud de los ciudadanos. Se recordó a la población que ante la situación por el COVID-19, las brigadas de abatización del Ayuntamiento de Mérida no pueden ingresar a los hogares por lo que cobra mayor relevancia la colaboración de la ciudadanía.



Figura. 2. Campaña de descacharrización [8]

Luego de que estuvieron temporalmente cerrados a partir de que se declaró la emergencia sanitaria por COVID-19, el Ayuntamiento de Mérida reactivó los cuatro Mega Puntos Verdes instalados en sitios estratégicos de la ciudad para continuar con las labores de reciclaje que al beneficiar al medio ambiente representan también un beneficio para la población [9]. Se anunció que funcionarán con nuevos protocolos, siguiendo las indicaciones de las autoridades sanitarias ante la contingencia por COVID-19. Quienes lleven artículos a los Puntos Verdes deberán tomar medidas sanitarias como el uso de cubrebocas y/o caretas protectoras, realizar unifila, respetar la sana distancia que estará debidamente marcada en el piso para esperar su turno de entrega, usar gel antibacterial antes y después de entregar los desechos. El Mega Punto Verde es un contenedor de 2.65 metros de ancho x 6 metros de largo (Figura 3). Es muy importante la correcta entrega de los residuos debido a la contingencia sanitaria, ya que contribuye al cuidado de la salud de toda la población, además del cuidado del medio ambiente. En esos contenedores se hace acopio de 11 diferentes tipos de residuos domésticos, como cartón y papel, envases de Tetra Pak, latas de aluminio, envases de diferentes tipos de plásticos clasificados, envases de vidrio, aparatos electrónicos pequeños y medianos, pilas, aceite doméstico y bolsas y envolturas de plástico.



Figura. 3. Mega Punto Verde [9]

3.2 Acciones implementadas por empresas del servicio de recolección

La empresa Servilimpia (una de las cuatro registradas oficialmente que proporcionan el servicio de recolección, las otras son SANA, Pamplona y Corbase) proporcionó vestimenta adecuada y artículos de protección a sus trabajadores para evitar mayores contagios de COVID-19 (Figura 4) [10].



Figura. 4. Vestimenta y artículos de protección de los trabajadores de Servilimpia [10]

Servilimpia recolecta residuos de domicilios y empresas [11]. Los clasifica en residuos peligrosos (aceites, baterías, residuos electrónicos y residuos biológicos infecciosos) y residuos sólidos urbanos (orgánicos e inorgánicos). Los residuos orgánicos que recolecta son restos de plantas como hojas, ramas, cáscaras, frutos en descomposición, restos de frutas o verduras, estiércol, huesos, etc., incluyendo animales muertos. Los residuos inorgánicos que recolecta, además de plástico, metal y vidrio, incluyen residuos sanitarios, por ejemplo, pañales desechables, papel higiénico, toallas sanitarias, excremento de mascotas, rastrillos, gasas, cubrebocas, etc.

Servilimpia puso en sus instalaciones filtros de acceso en los que se incluye la toma de temperatura al personal como parte de las estrategias y protocolos de salud ante la presencia del COVID-19 [12]. También se reforzaron las labores de limpieza, sanitización y desinfección de las unidades, especialmente las que se utilizan para recolectar los residuos hospitalarios. Para la recolección de residuos hospitalarios se cuenta con una cuadrilla especial, cuyos integrantes han sido dotados de trajes adecuados, guantes, lentes y cubrebocas que los protegen durante sus labores. Todos los trabajadores de Servilimpia recibieron material de higiene como cubrebocas, guantes, gel antibacterial y desinfectantes y se les instruyó sobre la importancia de mantener los protocolos y las medidas de higiene y prevención durante la jornada laboral,

ya que el riesgo de contagio es latente sobre todo debido al número de predios que atienden en el municipio.

Tanto SANA como Pamplona han implementado medidas de prevención y contención ante la emergencia sanitaria, a fin de garantizar el cuidado y protección de los recolectores y la ciudadanía [12].

Los recolectores de la empresa Pamplona hicieron una petición a la ciudadanía de Mérida utilizando redes sociales: “Ayúdame y te ayudo”. La petición se acompañó de un texto donde se reconocen a las personas que se dedican a recolectar la basura a pesar de la adversidad. Dicho mensaje pide a la sociedad en general que rocíen cloro sobre las bolsas de basura ante el temor de contraer COVID-19 (Figura 5) [13]. Luego de que se publicara la petición, decenas de ciudadanos se sumaron al reconocimiento de los recolectores de basura y piden cuidar de la salud de los trabajadores y de igual manera agradecieron el esfuerzo que realizan a diario.



Figura. 5. Trabajadores de la empresa Pamplona enviado un mensaje a la sociedad [13]

La empresa SANA presentó las siguientes campañas de concientización durante la contingencia sanitaria causada por COVID-19 [14]:

- “¡Qué tal, Usuario! Durante la contingencia por COVID-19 saca tu basura con doble bolsa y amárrala. Mantén Sana a tu familia y protege a los recolectores. #TodosSanos” (Figura 6).



Figura. 6. Campaña de concientización de la empresa SANA [14]

- ¡Hola, Usuario! Te informamos de las medidas que debes seguir durante la contingencia por COVID-19. Mantén Sana a tu familia y protege a los recolectores” (Figura 7).



Figura. 7. Campaña de concientización de la empresa SANA [14]

- “¡Hola, Usuario SANA! ¿Sabes cuánto tiempo permanece activo el COVID-19 en distintas superficies? Conoce más haciendo click en la imagen. Te recomendamos sacar tu basura con doble bolsa y colocarla dentro de un bote con tapa y así mantener Sana a tu familia y proteger a los recolectores. #TodosSanos” (Figura 8).



Figura. 8. Campaña de concientización de la empresa SANA [14]

- “¡Ellos también son héroes, héroes anónimos dispuestos a cuidarnos! Toma en cuenta estas recomendaciones si eres caso sospechoso o si diste positivo al coronavirus. Mantén sana a tu familia y protege a los recolectores. Ciudad limpia, Ciudad Sana” (Figura 9).

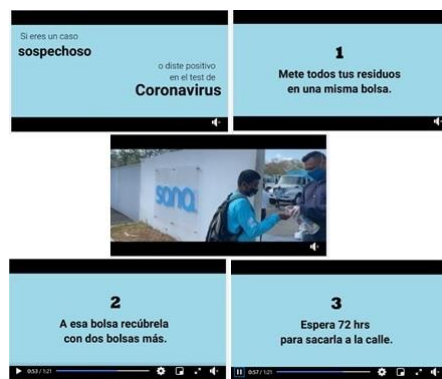


Figura. 9. Campaña de concientización de la empresa SANA [14]

- ¡Hola, Usuario! Te compartimos esta guía para informarte de la correcta disposición de tus residuos en casos de infección por coronavirus confirmada o posibles casos. Si tienes dudas o comentarios puedes comunicarte con nosotros 944-24-72. Lunes-viernes 7:00am-3:00pm. Mantén sana a tu familia y protege a los recolectores. #TodosSanos” (Figura 10).



Figura. 10. Campaña de concientización de la empresa SANA [14]

3.3 Acciones conjuntas implementadas por el ayuntamiento y empresas del servicio de recolección

La autoridad municipal puso en operación nuevos vehículos motorizados de la empresa Servilimpia (Figura 4) destinados al Centro Histórico, además de que se entregó equipo de seguridad sanitaria a los recolectores que conforman la cuadrilla especial encargada de recolectar los residuos de hospitales y centros de salud del municipio [12]. Estas unidades atenderán con mayor eficacia a los más de 5,000 predios entre domicilios y comercios de la zona del Centro Histórico, además de que son más ágiles, tienen bajo costo de operación y baja emisión de contaminantes. El centro de la ciudad sigue registrando fuerte movimiento porque alberga muchos comercios que brindan servicios esenciales, además de que es punto de desplazamiento de las personas que aún siguen laborando y de ahí la importancia de reforzar la recolección de basura.



Figura. 11. Vehículos motorizados de la empresa Servilimpia [12]

3.4 Comunicados de prensa

Una investigadora de la UAM, comunicó que los residuos domiciliarios no deben tratarse como en los hospitales, por lo que serán responsabilidad de cada ciudadano [15]. Indicó que, de tener un familiar con COVID-19, es importante contar con un bote de basura con una bolsa de plástico, tapa y si es posible pedal, para que el paciente pueda depositar ahí sus residuos. Para tirar estos desperdicios, explicó, se debe utilizar guantes y cubrebocas, cerrar perfectamente la bolsa que los contiene y colocarla en una segunda, que también se deberá amarrar y mantener durante 72 horas antes de entregarla al recolector. Estas recomendaciones son para que el virus deje de estar activo y no implique riesgos para los trabajadores, quienes se encuentran expuestos al contagio por la naturaleza de sus funciones. Si esto no es posible, también se puede preparar una solución de agua clorada y rociar la bolsa.

414

4. Conclusiones

Las autoridades municipales de Mérida han hecho esfuerzos para implementar acciones que protejan a las personas que proporcionan el servicio de recolección de residuos durante la contingencia sanitaria causada por COVID-19. Sin embargo, en esta breve búsqueda, no encontramos información sobre acciones encaminadas al establecimiento de protocolos especiales para el manejo de residuos en el interior del relleno sanitario de Mérida. Sí encontramos información sobre acciones implementadas por empresas registradas oficialmente que proporcionan el servicio de recolección, pero no encontramos información sobre acciones encaminadas a proteger la salud de los recolectores informales. Sería interesante revisar con más detalle que acciones están realizando las autoridades al respecto. En esta revisión no nos enfocamos a revisar cual ha sido el impacto en la salud de las personas dedicadas a la recolección de residuos durante la contingencia sanitaria (si es que ha habido contagios, si es que ha habido defunciones, y de ser así, cuántos casos se han presentado). Será interesante obtener ese tipo de información para evaluar la efectividad de los protocolos establecidos con la finalidad de mejorarlos en lo que resta de la contingencia sanitaria y en general, no solo para evitar contagios por COVID-19, sino para preservar la salud de las personas que realizan esta actividad tan importante ante cualquier tipo de amenaza dadas las características del trabajo que realizan. Más importante aún, será interesante saber que ha sucedido con los recolectores informales.

Agradecimientos

Este trabajo es producto del proyecto iniciativa UMT-2016-0012, “Ciencia, arte y conservación ambiental: desarrollo de estrategias creativas para fomentar el reciclado de materiales mediante la comunicación pública de la ciencia”.

Referencias Bibliográficas

- [1] Rhee, S. (2020) Management of used personal protective equipment and wastes related to COVID-19 in South Korea. *Waste Management & Research*, Online First Published, 1-5. Doi: 10.1177/0734242X20933343.
- [2] Gomes Mol, M.P., Caldas, S. (2020) Can the human coronavirus epidemic also spread through solid waste? *Waste Management & Research*, 38(5), 485-486. Doi: 10.1177/0734242X20918312.
- [3] Rojas, F., De la Cerda, V. (2020) ¿Cuáles son los impactos del COVID-19 en la industria del reciclaje? Comunicarse. En línea <<https://www.comunicarseweb.com/noticia/cuales-son-los-impactos-del-covid-19-en-la-industria-del-reciclaje>> Recuperado el 24/06/2020.
- [4] Murcia, A. (2020) México entre los 10 países que reportan más casos y decesos nuevos diarios. EXPANSIÓN política. En línea <<https://politica.expansion.mx/mexico/2020/06/15/mexico-entre-los-10-paises-que-reportan-mas-casos-y-decesos-nuevos-diarios>> Recuperado el 24/06/2020.
- [5] Secretaría de Salud de Yucatán (2020) Bebé de seis meses entre las víctimas mortales del Covid-19 en Yucatán. Diario de Yucatán. En línea <<https://www.yucatan.com.mx/merida/bebe-de-seis-meses-entre-las-victimas-del-covid-19-en-yucatan>> Recuperado el 24/06/2020.
- [6] Secretaría de Salud de Yucatán (2020) Muere bebé de seis meses por COVID-19 y se reportan 80 nuevos casos en Mérida. Reporteros Hoy. En línea <<https://reporteroshoy.mx/noticias/muere-de-bebe-de-seis-meses-por-covid-19-y-se-reportan-80-nuevos-casos-en-merida/>> Recuperado el 24/06/2020.
- [7] Mérida Sustentable (2020) Punto Verde. Ayuntamiento de Mérida 2018-2021. En línea <http://www.merida.gob.mx/sustentable/punto_verde.php> Recuperado el 24/06/2020.
- [8] Ayuntamiento de Mérida 2018-2021 (2020) Renán Barrera pide no seguir sacando basura a las calles. YUCATÁN AL MINUTO. En línea <<http://www.yucatanalminuto.com/noticia&id=94840>> Recuperado el 24/06/2020.
- [9] Barrera Concha, R. (2020) Reanudan operaciones de los cuatro Mega Puntos Verdes. Informat Yucatán. En línea <<http://informatyucatan.com/reanudan-operaciones-de-los-cuatro-mega-puntos-verdes/>> Recuperado el 24/06/2020.
- [10] Ordaz, A. (2020) Ajustes en el servicio de recolección de basura este 1 de mayo. La Jornada MAYA. En línea <<https://www.lajornadamaya.mx/2020-04-30/Ajustes-en-el-servicio-de-recoleccion-de-basura-este-1-de-mayo>> Recuperado el 24/06/2020.
- [11] SERVI-LIMPIA (2020) ¿Qué tipos de residuos sólidos maneja SERVI-LIMPIA?. Preguntas Frecuentes. En línea < <http://www.servilimpia.org.mx/Home/PreguntasFrecuentes> > Recuperado el 07/07/2020.
- [12] Barrera Concha, R., Rodríguez Rivas, V. (2020) Refuerzan medidas de seguridad e higiene en la recolección de basura ante el Covid-19. Yucatán EN CORTO. En línea <<https://www.yucatanencorto.com/noticias/refuerzan-medidas-de-seguridad-e-higiene-en-la-recoleccion-de-basura-ante-el-covid-19/>> Recuperado el 24/06/2020.
- [13] GELV COMERCIALIZADORA DE MEDIOS S.A. DE C.V. (2020) Recolectores de basura de Mérida hacen petición por temor a contagiarse de Covid-19. LA VERDAD. En línea <<https://laverdadnoticias.com/yucatan/Recolectores-de-basura-de-Merida-hacen-peticion-por-temor-a-contagiarse-de-Covid-19-20200407-0278.html>> Recuperado el 24/06/2020.
- [14] SANA Saneamiento SANA S.C. de R.L. (2020) VIRUS COVID-19. Sana Facebook. En línea <<https://www.facebook.com/SanaMerida/>> Recuperado el 24/06/2020.
- [15] AGENCIA NOTIMEX (2020) Así se manejan los residuos de una persona con Covid-19 en el hogar. NOVEDADES YUCATÁN. En línea <<https://sipse.com/novedades-yucatan/noticias-noticias-de-hoy-tratamiento-ropa-covid-19-paciente-coronavirus-salud-yucatan-361449.html>> Recuperado el 24/06/2020.

