3er Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos

9, 10 y 11 Junio, 2010

10ª SEMANA DEL AMBIENTE
11° FORO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Azcapotzalco

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

UABC

UMSNH

ciesas

Presentación
Antecedentes
Extensos
Sede
Contacto

Presentación

La Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana tiene el privilegio de ser la sede del 3er. Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos, reunión que tiene como objetivo principal, conjuntar trabajos de expertos cuyas investigaciones se enfoquen en los problemas sanitarios, ambientales y técnicos asociados a la generación, manejo y disposición final de los residuos sólidos, así como adelantos y evolución de la temática bajo estudio.

En este contexto el Encuentro presenta una oportunidad para difundir información e intercambiar experiencias en el campo de los residuos, además de fomentar la cooperación entre las instituciones educativas, sector social, gubernamental y la iniciativa privada.

INDICE

1. Estudios de caracterización y generación.

- Proyección de la generación de residuos sólidos municipales. Caso de estudio: Ensenada, Baja California. 6
- Análisis comparativo de estudios de generación y caracterización de los residuos sólidos urbanos en 2 localidades de la sierra norte del estado de Oaxaca. 14
- Estudios de generación, caracterización y determinación de peso volumétrico de Residuos Sólidos en localidades del estado de Oaxaca. 24
- Modelo dinámico para determinar la generación residuos de construcción y demolición. 34
- Caracterización fisicoquímica de los residuos sólidos confinados en el relleno sanitario de Morelia Michoacán. 47
- Diagnóstico y propuesta preliminar de manejo de residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos generados en los talleres y laboratorios DcyAD UAM-A. 57
- Prácticas de consumo presentes en los residuos de origen domiciliario. 68
- Estudios de generación, caracterización y determinación de peso volumétrico de Residuos Sólidos en localidades del Municipio de Ayahualulco, Veracruz. 74
- Efecto de las compras verdes y el desarrollo de infraestructura en la generación de residuos en la UAM-Azcapotzalco. 79

2. Minimización.

- Una Alternativa de Gestión Para Residuos Químicos Generados en Laboratorios Universitarios. 85

3. Reciclaje y reusó.

- Una visión para dimensionar la problemática de los residuos comerciales y su recuperación en Mexicali. 96
- Determinación de perfiles para el diseño de productos reciclables. 103
- Proceso hidrometalúrgico para recuperar y reciclar Zinc, Manganeso y carbón de pilas cilíndricas 111

4. Almacenamiento recolección transporte y transferencia.

- Acceso diferenciado de los hogares al servicio de recolección de residuos sólidos. 118
- Protección del recurso hídrico mediante la recolección de aceite usado de cocina en la zona residencial del barrio Simón Bolívar, Distrito De Santa Marta D.T.C.H Magdalena Colombia. 129

5. Tratamientos (mecánicos, biológicos, térmicos y similares).

- Remoción de contaminantes presentes en un lixiviado maduro por oxidación química. 143
- Eliminación de la FORSU obteniendo hidrógeno, con bacterias específicas y con un consorcio de bacterias nativas. 147
- Evaluación del proceso de estabilización-deshidratación de los lodos de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A. 152
- Degradación de los Residuos Sólidos del cigarrillo por el crecimiento de Pleurotus ostreatus y Trametes versicolor. 161
- Tratamiento de lixiviados mediante su dilución y recirculación en residuos sólidos urbanos. 166
- Factibilidad de estabilización alcalina de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la UAM-A. 174
- Efecto de la degradación acelerada de RSU en su capacidad buffer. 181

6. Uso de rellenos sanitarios (diseño, monitoreo, remediación de sitios clausurados).

- Análisis de incertidumbre de la estimación de generación de biogas en vertederos mediante Lógica Difusa. 185
- Desarrollo de una tecnología para el tratamiento de lixiviados. 195
- Metodología para la localización de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica. Un caso regional colombiano. 217
- Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 228
- Emisiones superficiales de metano en 3 sitios de disposición final de residuos sólidos en Yucatán, México. 237

7. Consideraciones ambientales.

- Emisión de gases efecto invernadero, características de planta y rendimiento de frijol cultivado en suelo fertilizado con Biosólido. 253
- Vulnerabilidad social y ambiental por el manejo de llantas de desecho en la ciudad de Mexicali. 262
- El fenómeno de los residuos sólidos. 269

8. Aspectos financieros y de mercadeo.

9. Aspectos de legislación.

- Estándares internacionales para determinar la biodegradabilidad de plásticos: implicaciones y aplicabilidad en México. 280

10. Educación y entrenamiento.

- Patrones de comportamiento del consumidor: una aplicación de la lógica difusa. 288
- Actitudes de estudiantes de ingeniería hacia el manejo de residuos sólidos. 301
- El análisis del ciclo de vida (ACV) como herramienta interdisciplinaria en las licenciaturas de la UAM. 306
- Educación Ambiental sobre reciclaje en el Barrio Villa Mónica del distrito de Santa Marta D.T.C.H -Magdalena-Colombia. 315
- Institucionalización del promotor de reciclaje en los sistemas municipales de prevención y gestión integral de residuos sólidos. 322
- El manejo de residuos en las instituciones de educación superior: el caso de las universidades en Guanajuato. 336

11. Planeación e implementación de operaciones.

- Calculadora de proyectos de RSU para municipios de México. 347

12. Otros.

- Participación del sector informal en la gestión de los residuos sólidos municipales en San Luis Potosí. El caso de los pepenadores del tiradero municipal de peñasco. 355
- El manejo local de los residuos sólidos orgánicos con participación comunitaria, una propuesta probada. 364
- La percepción de los funcionarios públicos sobre la problemática de los residuos. 375

13. Gestión integral.

- La gestión de los residuos en los municipios de la cuenca del río Ayuquila, Jalisco. 382
- Manejo integral de los residuos en la UACM.
- Mejora de un sistema de gestión municipal en una ciudad fronteriza: un caso de estudio. 390
- Participación acción para el diseño de un modelo de manejo integral de residuos sólidos urbanos. 409

14. Aspectos políticos y sociales.

- La autoeficacia ambiental percibida y el manejo integral de los residuos sólidos. 417
- Evaluación de barreras para fomentar conducta de separación de residuos 427
- Centro juvenil de promoción ambiental "Acohuetzi" una estrategia de atención al manejo de los residuos sólidos. Hacia un futuro indiferente. 436

Presentación
Antecedentes
Extensos
Sede
Contacto

1. Estudios de caracterización y generación.

- Proyección de la generación de residuos sólidos municipales. Caso de estudio: Ensenada, Baja California.
- Análisis comparativo de estudios de generación y caracterización de los residuos sólidos urbanos en 2 localidades de la sierra norte del estado de Oaxaca.
- Estudios de generación, caracterización y determinación de peso volumétrico de Residuos Sólidos en localidades del estado de Oaxaca.
- Modelo dinámico para determinar la generación residuos de construcción y demolición.
- Caracterización fisicoquímica de los residuos sólidos confinados en el relleno sanitario de Morelia Michoacán.
- Diagnóstico y propuesta preliminar de manejo de residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos generados en los talleres y laboratorios DcyAD UAM-A.
- Prácticas de consumo presentes en los residuos de origen domiciliario.
- Estudios de generación, caracterización y determinación de peso volumétrico de Residuos Sólidos en localidades del Municipio de Ayahualulco, Veracruz.
- Efecto de las compras verdes y el desarrollo de infraestructura en la generación de residuos en la UAM-Azcapotzalco.

Proyección de la generación de residuos sólidos urbanos. Caso de estudio: Ensenada, Baja California

Q. Aguilar [1,*], P.A. Taboada [1], C. Armijo [2], S. Ojeda [3], X.M. Aguilar [4]

[1] Estudiante de Doctorado del programa Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería. Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California

[2] Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California

[3] Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California

[4] Instituto Tecnológico de Tijuana

Baja California, México

email: *qaguilarv@gmail.com

Resumen

La información sobre generación de residuos es indispensable para lograr una recolección, transporte y disposición de residuos eficientes. Conocer las tendencias de generación per cápita ayuda a establecer las necesidades futuras de recursos para un manejo sustentable a los residuos, que solo será posible si se cuenta con la información adecuada. Los objetivos de este estudio fueron identificar la tendencia de la generación de residuos y su comportamiento diario durante dos periodos estacionales representativos del clima mediterráneo en la ciudad de Ensenada, Baja California, México. Se identificó la tendencia a través de un análisis de series de tiempo, empleando el programa estadístico MINITAB® 14.1. Se usaron los datos de los pesajes diarios de los camiones recolectores del Ayuntamiento de Ensenada, del primer semestre del año 2009 (25 semanas completas). La generación per cápita total aproximada de Ensenada en el periodo de estudio fue de 0.864 ± 0.035 kg/día-hab con un intervalo de confianza del 98%. La tendencia indica un ligero decremento de la generación de residuos obteniendo 1739 ton/sem y un intervalo de predicción del 95% que va de 1591 a 1886 ton/sem. Dicha información ayudará a realizar una mejor planeación sobre la gestión de los residuos, tales como ruteo, presupuestos, programas de reciclaje y reuso, y tratamientos de residuos.

Palabras Clave – Tasas de generación de residuos sólidos, Proyección de generación de residuos, Tendencias de generación, Residuos sólidos urbanos

Abstract

The information on waste generation is essential for an efficient collection, transport and waste disposal. Knowing the trends of the per capita waste generation helps to establish future resource needs for sustainable management of waste, which is only possible if you have adequate information. The objectives of this study were to identify the trends in waste generation and their daily behavior for two seasonal periods representing the Mediterranean climate in the city of Ensenada, Baja California, Mexico. The trend was identified through an analysis of time series using MINITAB® 14.1 statistical software. The data from the daily weightings of the waste collecting trucks during -the first half of 2009 (25 completed weeks) were used. The results showed that the approximate total per capita waste generation in Ensenada during the study period was 0.864 ± 0.035 kg/day person with a confidence interval of 98%. The trend indicates a slight decrease in waste generation getting 1739 tons/week and a prediction interval that is 95% of 1591-1886 tons/week. This information will help to make better planning on the management of waste, such as routing, budgeting, recycling and reuse, and waste treatment.

Keywords – Solid waste generation rates, Projection of waste generation, Trends in generation, Municipal solid waste

I. INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son una parte integral de cualquier sociedad y vienen de actividades llevadas a cabo en los hogares, lugares

email coautores: taboadapa@gmail.com, carmijo@uabc.edu.mx, sojedab@uabc.mx, xmaguilar@gmail.com

públicos y servicios privados, construcción y establecimientos comerciales y de servicios. Como un resultado de las dichas actividades, el residuo es generado y acumulado en los sitios de disposición final, qué es la última etapa en el sistema de limpia de cualquier ciudad y a menos que se aplique un manejo apropiado de los residuos sólidos, se pueden producir problemas ambientales serios, tal como los asociados con la contaminación del aire, agua y suelo (Ojeda Benítez, 2006; Ojeda-Benítez et al., 2003; Abu-Qdais and Abu-Qdais, 2000).

Los datos precisos en relación con las estimaciones de producción presentes y futuras y composición de los distintos tipos de residuos son esenciales a largo plazo para la planificación eficaz y económica de la gestión de los residuos (Williams, 1998). Dicha información es muy importante ya que interviene en la selección y operación del equipo y las instalaciones, en el asesoramiento para la viabilidad de la recuperación de energía y recursos, y en el análisis y diseño de instalaciones de evacuación en los rellenos(Tchobanoglous et al., 1994; Williams, 1998; Zeng et al., 2005).

1.1 Generación de residuos sólidos

La generación se inicia cuando un consumidor decide que un producto se torna no deseable y/o sin utilidad para él. Este momento varía dependiendo del criterio de cada individuo, de las costumbres de la colectividad y de la disponibilidad de ciertos recursos. La adopción de un estilo de vida semejante al modelo de las sociedades industriales ha contribuido también al aumento en la generación de residuos (Otoniel Buenrostro and Gerardo Bocco, 2003; SEMARNAT, 2008; Shah, 2000; Jiménez Cisneros, 2005). La generación de residuos per-cápita no es generalizable. Esta no depende únicamente del número de habitantes de una población sino que es afectada por aspectos económicos, políticos y sociales, tales como ingreso per-cápita, cultura, hábitos de consumo, conciencia ecológica, nivel de desarrollo, entre otros. Así, se puede esperar que la generación per-cápita entre un país desarrollado y uno en vías de desarrollo difiera significativamente (Taboada et al., 2009). En la tabla 1 se muestran los datos de generación de residuos sólidos urbanos en algunos países desarrollados.

Tabla 1. Generación per-cápita de residuos sólidos urbanos en países desarrollados

País	Año de estimación	Generación per-cápita (kg/día)
Alemania	1987	0.868
Italia	1989	0.823
Japón	1988	1.090
Reino Unido	1989	0.976
Estados Unidos	1993	1.996

Fuente: Shah, 2000

Entre las comparaciones de generación per cápita por día de RSU entre varios países se tiene que Estados Unidos genera más del doble de la generación per cápita de residuos que muchos países de Europa, incluyendo el Reino Unido (Williams, 1998; Shah, 2000). Estos datos deben ser comparados con otros países en desarrollo, donde la generación de residuos tiende a ser bajo. Por ejemplo, la producción anual per cápita de RSU en Delhi, India, ha sido estimada en 0.372 kg/hab/día, en Katmandú, Nepal, en 0.299 kg/hab/día, y en Wehan, China, en 0.548 kg/hab/día (Williams, 1998).

En el caso de México, los municipios no tienen un registro de los residuos sólidos (RS) que se generan, por lo que no pueden ser identificados claramente el origen y los tipos de RS producidos en cada área, por lo que las decisiones son basadas en hipótesis, suposiciones e inferencias(Otoniel Buenrostro and Gerardo Bocco, 2003). No obstante, reportes oficiales indicaron que en el año 2000, la tasa de generación diaria de los RSU fue de 0.865 kg/cápita. Cinco años después, la tasa de generación fue de 0.963 kg/cápita. Esto es, aproximadamente 97,000 toneladas de RSU/d que fue producida por toda la nación en el 2005 (Hernández-Berriel et al., 2008). Sin embargo, dichas cifras son mayores, ya que no todos los residuos son recolectados, en México se recolecta el 86.43% de los residuos genera-

dos y particularmente en Baja California se recolecta el 89.86% (SEMARNAT, 2008). Estos datos concuerdan con que expone Tchobanoglous et al. (1994), al mencionar que la diferencia entre la cantidad recolectada para su procesamiento y/o vertido variará normalmente desde el 4% hasta el 15%. Las diferencias se pueden justificar por la cantidad de material: 1) fermentado, 2) quemado en chimeneas domésticas, 3) arrojado a las alcantarillas, 4) donado a agencias de caridad, 5) vendido a mercadillos, 6) entregado a estaciones de recolección selectiva y centros de reciclaje, y 7) reciclado directamente.

En la tabla 2 se muestran algunos resultados de estudios de generación per cápita de residuos en diferentes partes de México.

Tabla 2. Producción per cápita de residuos en distintos ciudades de México

Investigador	Producción per cápita	Sitio
Bernache-Perez et al. (2001)	0.508 ± 0.151 kg	Guadalajara, México
Ojeda-Benitez et al. (2003)	0.592 kg en estrato socioeconómico medio	Mexicali, México
SEMARNAT (2008)	0.89 kg Zona Centro 1.06 kg Frontera Norte 0.78 kg Zona Norte 0.71 kg Zona Sur 1.43 kg Distrito Federal	República Mexicana
Gomez et al. (2008)	0.599 kg Estrato bajo 0.697 kg Estrato medio 0.732 kg Estrato alto	Chihuahua, México
Buenrostro (2001)	0.629 kg	Morelia, México

1.2 Determinación de la generación de residuos sólidos en México

De acuerdo a la NMX-AA-091-1987, la generación de residuos sólidos se refiere a la cantidad de residuos originados por una determinada fuente en una unidad de tiempo. En ella se incluyen desechos generados en las casas habitación, comercios, instituciones, y otros. Puede indicarse como el número de kilogramos de residuos sólidos que produce cada habitante por día en una población determinada (kg/hab/día) o indicarse como el número de kilos generados por habitante anualmente (kg/hab/año).

Las cantidades de residuos normalmente se estiman basándose en datos recolectados durante el transcurso de un estudio de caracterización de residuos, utilizando datos previos sobre la generación de residuos, o alguna combinación de los dos acercamientos. Los métodos comúnmente utilizados para valorar las cantidades de residuos sólidos son: 1) análisis del número de cargas, 2) análisis peso-volumen, y 3) análisis balance de masas (Tchobanoglous et al., 1994).

En México, la determinación de la generación de residuos sólidos urbanos se puede realizar de forma directa o indirecta. Si el estudio se realiza de forma directa, éste se llevaría a cabo de acuerdo con la NMX-AA-061-1985, la cual se realiza un muestreo casa por casa durante 8 días, descartando el primer día (SEMARNAT, 2001). En cambio, si se determina de forma indirecta, sería como se muestra en la ecuación 1.

$$gpc = \frac{\text{Cantidad total de residuos que se recolectan (kg/día)}}{\text{Población atendida por el servicio de recolección (hab)}} \quad (1)$$

De acuerdo con Buenrostro et al. (2001) los modelos de generación de residuos sólidos pueden ser agrupados en dos grandes clases:

1) Modelos descriptivos de generación. Estos modelos proveen información sobre las diferentes fuentes de generación de residuos sólidos, tales como residuales, comerciales, institucionales y el sector industrial. En general, estos modelos son expresados en términos de unidades de tasas de generación, que son factores multiplicadores o relacionan la cantidad de residuos generados con ciertas características de la comunidad, tales como tamaño total de la población o números de personas empleadas.

2) Modelos predictivos de generación. En general, estos modelos son basados sobre una unidad de tasas de generación de residuos. Los modelos de pronósticos son desarrollados usando métodos estadísticos, tales como la correlación de las variables socioeconómicas con la generación de residuos y la aplicación de modelos de regresión

lineal, los componentes principales del análisis sugieren indicadores del potencial de generación de residuos sólidos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Ensenada, cabecera municipal del municipio del mismo nombre en el Estado de Baja California, ubicado al noroeste de México. El municipio de Ensenada, con sus 52,510.712 km^2 de superficie, representa el 74.84% de la superficie del estado de Baja California y 2.6% de la superficie del país, por lo que es el municipio de mayor extensión en México.

La ciudad de Ensenada se encuentra ubicada a los 31°52' de latitud norte y los 116°36' de longitud oeste. La precipitación promedio anual histórica es de 250 mm, con un clima mediterráneo, temperatura templada la mayor parte del tiempo y lluvias principalmente en invierno. Las principales actividades económicas son el turismo, la pesca y la industria vitivinícola.

2.1 Determinación de la generación de residuos en Ensenada

Se utilizaron los datos de los pesajes diarios de los camiones recolectores del Ayuntamiento de Ensenada, del primer semestre del año 2009 (25 semanas completas). Dicha información fue proporcionada por la Dirección de Servicios Públicos Municipales de la Secretaria de Administración Urbana del Gobierno Municipal de Ensenada. Para la estimación per cápita, se consideró una población total de 284,530 habitantes (Ensenada, El Sauzal y Rodolfo Sánchez T. "Maneadero"), de acuerdo con datos del INEGI (2005). Se empleó el programa estadístico MINITAB® 14.1 con el estadístico t-student y un intervalo de confianza del 98%.

2.2 Análisis de las tendencias de la generación de residuos en Ensenada

Para realizar las proyecciones de generación de residuos sólidos se utilizó un análisis de series de tiempo, los cuales tratan de predecir el futuro con base en los datos pasados. Se llevo a cabo un horizonte de proyección a mediano plazo (de tres meses a dos años), dichas proyecciones son útiles para los efectos estacionales. En este análisis se empleó el programa estadístico MINITAB® 14.1 y se llevo a cabo en dos fases: a) Proyección de generación de residuos, y b) Proyección del comportamiento diario de generación de residuos.

En la primera fase del análisis se utilizaron las 25 semanas completas del primer semestre del año 2009 y se realizó por dos métodos de proyección: 1) Análisis de regresión lineal, y 2) Promedio de movimiento simple. En el primero se proyectaron 24 semanas y en el segundo 12 semanas. Posteriormente, se realizó un ajuste en el segundo método, alimentando el modelo con datos de las iteraciones hasta que se estabilizo la generación de residuos.

En la segunda fase del análisis se emplearon los 181 pesajes diarios de los camiones recolectores del primer semestre del año 2009. Se aplicó el método de descomposición de series de tiempo, donde se utilizó una variación estacional multiplicativa, cuyo factor de estacionalidad fue de 7, valor debido a los días de la semana.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Generación de residuos en Ensenada

La generación semanal promedio de los residuos fue de 1,720.52 ± 69.14 ton/sem dando una generación per cápita de 0.864 ± 0.035 kg/día-hab (ver ecuaciones 2 y 3), donde gpc_m es la media y gpc_l son los límites de tolerancia. En la figura 1, se puede apreciar el comportamiento de la recolección de los RSD por el ayuntamiento de Ensenada.

$$gpc_m = \left[\frac{\left(\frac{1720{,}520\ kg}{1\ sem}\right)\left(\frac{1\ sem}{7\ días}\right)}{284530\ hab}\right] = 0.864 \frac{kg}{día \cdot hab} \qquad (2)$$

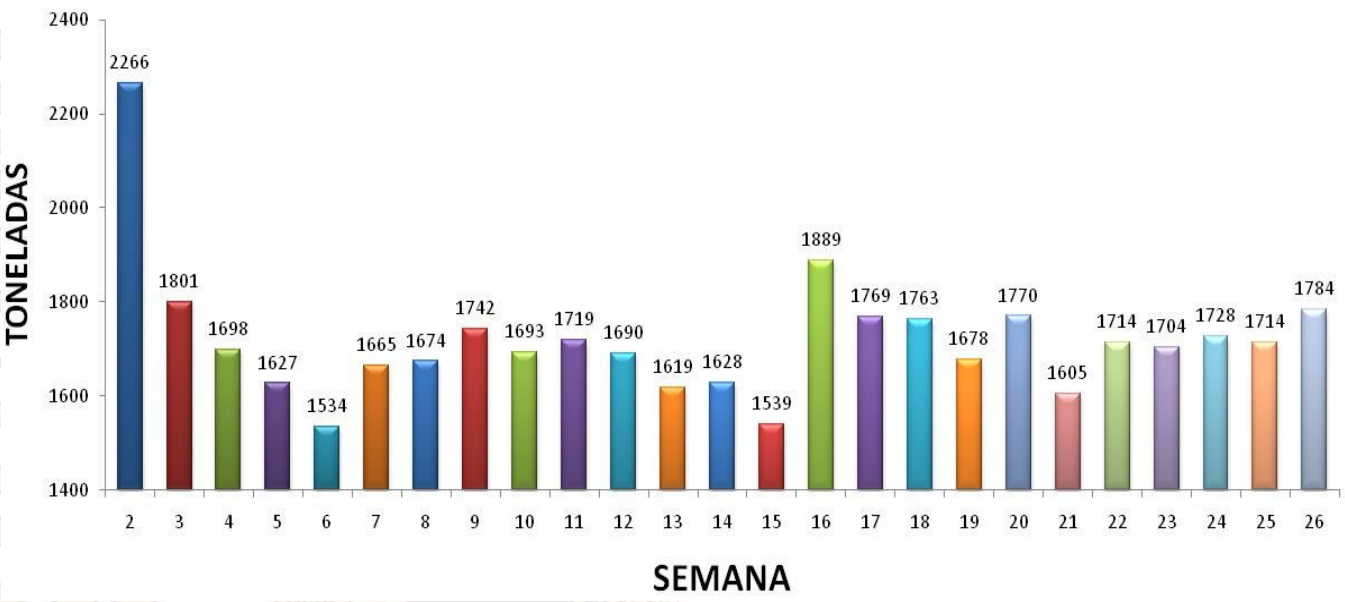


Figura 1. RSD recolectados en el primer semestre del 2009

$$gpc_l = \left[\frac{\left(\frac{69{,}140\ kg}{1\ sem}\right)\left(\frac{1\ sem}{7\ días}\right)}{284530\ hab}\right] = 0.035 \frac{kg}{día \cdot hab} \qquad (3)$$

La SEMARNAT (2008) reportó que la generación per cápita diaria para el 2006 en zona fronteriza fue de 1.06 kg/día-hab, el dato encontrado en éste estudio fue menor a lo indicado en el estudio mencionado.

En contraste con lo encontrado por Ojeda-Benitez et al. (2003), en Mexicali con 0.592 kg/hab-día; esto se puede deber a que el periodo de la muestra tomada fue en dos etapas de Mayo a Junio 1999 y de Marzo a Abril 2000, y los resultados mostrado son solo de febrero de 2009, existiendo una diferencia de 9 a 10 años, periodo en el que ha habido un crecimiento poblacional y cambios en los patrones de consumo.

En investigaciones realizadas en otras ciudades del país se encontraron resultados que indican cantidades menores a lo reportado en el presente estudio, tal como lo expone Gómez et al. (2008) en Chihuahua con 0.676 kg/hab-día, Buenrostro (2001) en Morelia reporta 0.629 kg/hab-día, dichas cantidades son promedios de la generación per cápita de los tres estratos socioeconómicos (bajo, medio y alto) estudiados; y Bernache-Pérez et al. (2001), en Guadalajara con 0.580 kg/hab-día con una sola muestra de casas habitación. También es importante mencionar que en estos estudios se realizó una recolección de muestras casa por casa, al contrario de lo que se llevó a cabo en la presenten investigación donde las muestras fueron obtenidas directamente del camión recolector.

Comparando con otras ciudades del mundo, se puede apreciar que la generación per cápita diaria de Ensenada es muy similar a las descritas por, Hristovski et al. (2007) con 1.06 ± 0.56 kg en Veles, Macedonia (economías en desarrollo); Bernache-Pérez et al. (2001) que señala países desarrollados tal como Japón (1.22 kg) y Alemania (1.15 kg). A diferencia de otros países desarrollados como E.U. con 2.3 kg/hab-día (Zeng et al., 2005) y Reino Unido con un 2.42 kg/hab-día (Kumar and Goel, 2009) donde se puede apreciar una marcada diferencia.

3.2 Proyección de generación de residuos en Ensenada

En el método de análisis de regresión lineal se puede observar una tendencial lineal a la baja, donde los residuos que se generarían en el próxi-

mo periodo oscila entre 1683 y 1617 ton/sem en tendencia descendente, con una ecuación lineal de $Y_t = 1757.76 - 2.86462t$ (ver figura 2).

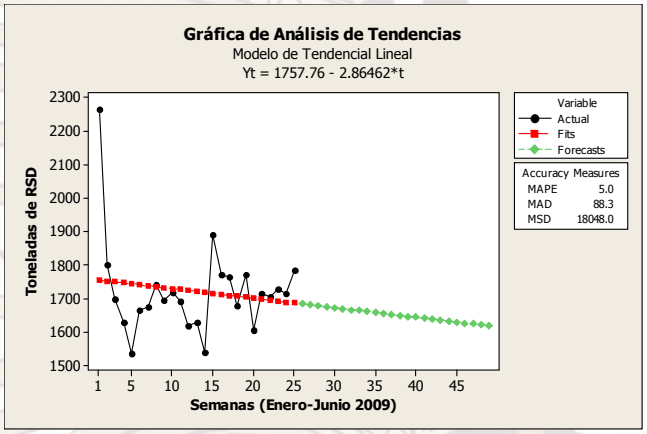


Figura 2. Proyección de la generación de residuos por el método de regresión lineal

Con el método de promedio de movimiento simple se tiene un comportamiento lineal con una generación de residuos de 1724 ton/sem y un intervalo de predicción del 95% que va de 1541 a 1907 ton/sem (ver figura 3).

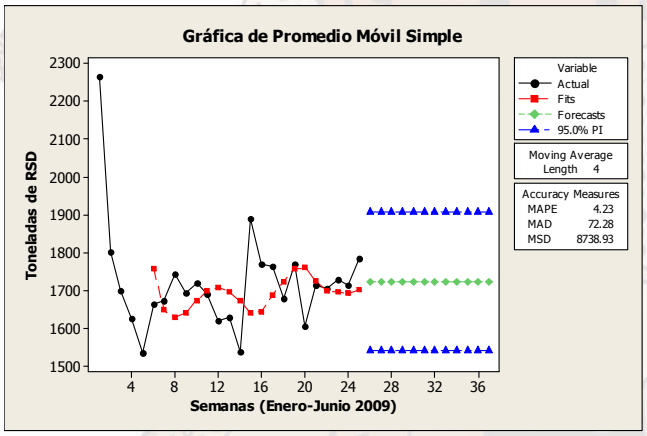


Figura 3. Proyección de la generación de residuos por el método de promedio móvil simple

En ambas figuras (2 y 3) se puede apreciar una medida de exactitud del pronóstico conocida como MAD (que significa media desviación absoluta, esta expresa la precisión en las mismas unidades que los datos, ayudando a conceptualizar la cantidad de error), la cual es menor en 16.02 unidades en el promedio móvil simple que en el análisis de regresión lineal. Por lo que se tiene que el pronóstico más acertado es de 1724 ton/sem obtenido por el método de promedio móvil simple.

No obstante, el comportamiento de los datos indican cierta estacionalidad que en el pronóstico no pueden ser apreciadas, por lo que se realizaron varias iteraciones del modelo alimentándolo de nuevo con los resultados de cada iteración se tendría una nueva proyección de generación de residuos, obteniendo 1739 ton/sem y un intervalo de predicción del 95% que va de 1591 a 1886 ton/sem (ver figura 4).

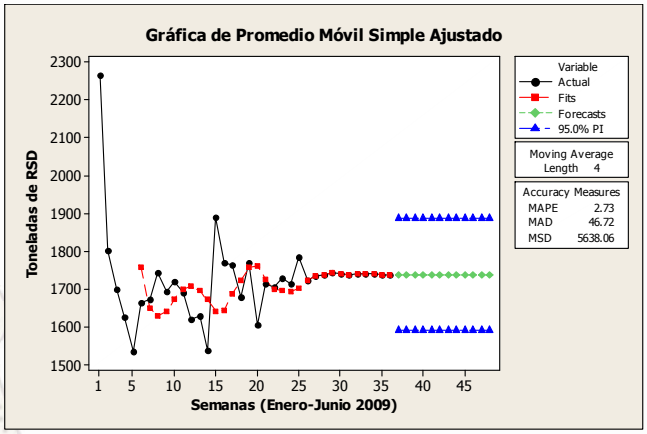


Figura 4. Ajuste en la proyección de la generación de residuos por el método de promedio móvil simple

Como se puede observar en la figura anterior la medida de exactitud MAD es mucho menor para este pronóstico en un 35% (46.72 ton/sem).

En la figura 5 se puede apreciar el comportamiento diario de la generación de residuos, la cual tiene una tendencia ligeramente descendente, una variación cíclica entre los días de la semana, así como una marcada tasa de generación, siendo la mayor los martes y miércoles, y la menor los sábados y domingos.

El MAD en este método arrojo un 27.25 ton/sem, pronóstico más exacto que los anteriores debido a la disminución de este indicador.

La media aritmética de la generación diaria muestra que en promedio la generan mayor de residuos es de 303.308 ton los miércoles y la generación menor es de 120.615 ton los domingos, aproximadamente un 60% menos, esto se puede atribuir a que la limpiezas de casas se realiza los fines de semana y los residuos son recolectados los días posteriores (ver figura 6).

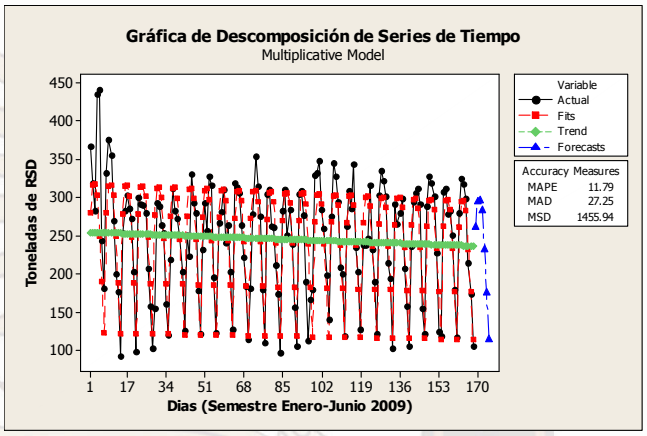


Figura 5. Proyección del comportamiento diario de la generación de residuos por el método de descomposición de series de tiempo

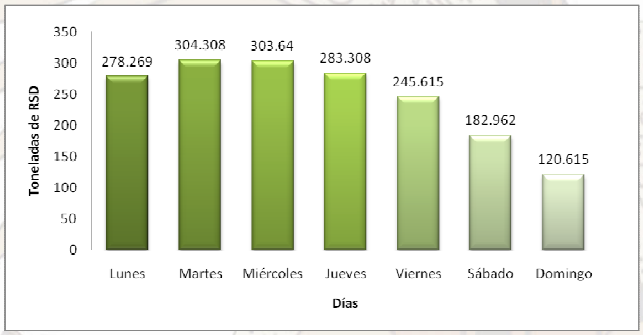


Figura 6. Media de generación diaria de RSD

CONCLUSIONES

La generación de residuos sólidos en México podría ajustarse a la Ley de Rendimiento Decreciente, es decir, por más factores que influyan en la generación llegará un momento en que empiecen a establecerse la cantidad de residuos generados y por fin decrecer. Esto será posible si se tiene conciencia de la cantidad de residuos que estamos desechando, el nivel de consumismo y la legislación actual. De ahí la importancia de programas relativamente sencillos como las 3 R's (reciclar, reutilizar y reusar).

Se debe de tener especial atención en las proyecciones realizadas, ya que como se apreció en la presente investigación, cada pronóstico proporcionaba una cantidad diferente de MAD, los modelos de proyección no perfectos, estos se deben de revisar constantemente y adecuar a los cambios, como ejemplo de esto se puede señalar en la estimación propuesta por INE (1997) para Ensenada en el 2010 de 1.3837 kg/día-hab, cuando de acuerdo a los pronósticos realizados la tendencia va ligeramente a la baja.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece al Departamento de Aseo y Limpia de la Dirección de Servicios Públicos Municipales de la Secretaria de Administración Urbana del Gobierno Municipal de Ensenada del XIX Ayuntamiento de Ensenada por las facilidades otorgadas para la realización de la presente investigación.

REFERENCIAS

Abu-Qudais, M., and Abu-Qdais, H. A., 2000. Energy content of municipal solid waste in Jordan and its potential utilization. Energy Conversion and Management 41, 983-991.

Bernache-Perez, G., Sanchez-Colon, S., Garmendia, A. M., Davila-Villarreal, A., and Sanchez-Salazar, M. E., 2001. Solid waste characterization study in the Guadalajara Metropolitan Zone, Mexico. Waste Management Research 19, 413-424.

Buenrostro Delgado, O., 2001. Los residuos sólidos municipales. Perspectivas desde la investigación multidisciplinaria. Universitaria, México.

Buenrostro, O., Bocco, G., and Vence, J., 2001. Forecasting generation of urban solid waste in developing countries -- A case study in Mexico. Journal of the Air & Waste Management Association (1995) 51, 86-93.

Buenrostro, O., and Bocco, G., 2003. Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives. Resources, Conservation and Recycling 39, 251-263.

Gomez, G., Meneses, M., Ballinas, L., and Castells, F., 2008. Characterization of urban solid waste in Chihuahua, Mexico. Waste Management 28, 2465-2471.

Hernández-Berriel, M., Márquez-Benavides, L., González-Pérez, D., and Buenrostro-Delgado, O., 2008. The effect of moisture regimes on the anaerobic degradation of municipal solid waste from Metepec (México). Waste Management 28, S14-S20.

Hristovski, K., Olson, L., Hild, N., Peterson, D., and Burge, S., 2007. The municipal solid waste system and

solid waste characterization at the municipality of Veles, Macedonia. Waste Management 27, 1680-1689.

INE, 1997. Estadísticas e indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México. México.

Jiménez Cisneros, B. E. J., 2005. La contaminación ambiental en México. Limusa, México.

Kumar, K. N., and Goel, S., 2009. Characterization of Municipal Solid Waste (MSW) and a proposed management plan for Kharagpur, West Bengal, India. Resources, Conservation and Recycling 53, 166-174.

NMX-AA-061-1985 Norma Mexicana NMX-AA-061-1985. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Muncipales-Determinación de la Generación, México.

NMX-AA-091-1987 Norma Mexicana NMX-AA-091-1987. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Calidad del Suelo-Terminología, México.

Ojeda Benítez, S., 2006. El consumo como fuente de generación de basura y contaminación. In Contaminación y medio ambiente en Baja California. Universidad Autónoma de Baja California y Miguel Ángel Porrúa, librero-editor, México, pp. 227-249.

Ojeda-Benitez, S., Armijo-de Vega, C., and Ramírez-Barreto, M. E., 2003. Characterization and quantification of household solid wastes in a Mexican city. Resources, Conservation and Recycling 39, 211-222.

SEMARNAT, 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales 2008.

SEMARNAT, 2001. Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. México.

Shah, K. L., 2000. Basics of Solid and Hazardous Waste Management Technology. Prentice Hall, United States of America.

Taboada, P., Armijo, C., Aguilar, Q., Ojeda, S., and Aguilar, X., 2009. Métodos para la determinación de generación de residuos en comunidades rurales. In II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. REDISA, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, p. 7.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S., 1994. Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGraw-Hill, Madrid, España.

Williams, P. T., 1998. Waste Treatment and Disposal. John Wiley & Sons.

Zeng, Y., Trauth, K. M., Peyton, R. L., and Banerji, S. K., 2005. Characterization of solid waste disposed at Columbia Sanitary Landfill in Missouri. Waste Management Research 23, 62-71.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTUDIOS DE GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN 2 LOCALIDADES DE LA SIERRA NORTE DEL ESTADO DE OAXACA.

Melquiades Cortés Pérez, M.I.A Miguel Ángel Curiel Olivera, Nancy Merab Pérez Belmonte
Universidad de la Sierra Juárez.
Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México
ca055007@juppa.unsij.edu.mx

Resumen

Los estudios que se realizaron tuvieron la finalidad de generar información básica cualitativa y cuantitativa, para la determinación de la generación per-cápita, peso volumétrico y el porcentaje de los diferentes tipos de residuos que se generan. Con la información obtenida ambas localidades podrán elaborar un Plan de Manejo Integral de los Residuos sólidos el cual comprende actividades, como la reducción de la generación, separación, reciclaje, aprovechamiento, recolección y la disposición final.

Las localidades en las que se llevaron a cabo los trabajos son Capulálpam de Méndez y Santa Catarina Lachatao pertenecientes a la Sierra Norte del estado de Oaxaca, catalogadas por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística como comunidades rurales con un número de habitantes menor a los 2500 habitantes. En ambas localidades se tiene el interés por la implementación de una gestión ambientalmente adecuada de sus residuos sólidos urbanos.

Palabras Clave – generation, volumetric weight, Capulálpam de Méndez, Santa Catarina Lachatao.

Abstract

The studies were conducted in order to generate basic qualitative and quantitative information, using random sampling methods for determining per-capita generation, volumetric weight and percentage of different types of waste generated. Using the information from both localities may develop an integral Management Plan for Solid Waste which includes activities such as reducing the generation, separation, recycling, use, collection and disposal.

The localities in which the studies was carried out are Capulálpam Mendez and Santa Catarina Lachatao belonging to the Sierra Norte of Oaxaca state, listed by the National Institute of Geography and Statistics as rural communities with a population size less than 2500 in habitants. In both areas there is interest in implementing municipal solid waste management to take care the environment.

Palabras claves: Residuos Sólidos, generación, caracterización, peso volumétrico Capulálpam de Méndez, Santa Catarina Lachatao.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo el problema asociado a la generación, manejo y disposición final de lo que comúnmente conocemos como basura (o técnicamente residuos sólidos) se ha posicionado como uno de los prioritarios en la agenda de los gobiernos locales, estatales, nacionales e internacionales. El crecimiento demográfico y el cambio en los estilos de vida son algunos de los factores que han agravado el problema.

En las localidades de la Sierra Norte del estado de Oaxaca la preocupación y la búsqueda de alternativas de solución a la problemática ocasionada por el inadecuado manejo de los residuos sólidos nos ha motivado a planear y ejecutar estudios enfocados a la búsqueda de

alternativas de solución y minimización de los impactos ocasionados al ambiente por dicha problemática. Bajo el respaldo de un equipo de profesores expertos en el tema adscritos a la Universidad de la Sierra Juárez y junto con el apoyo de las autoridades municipales de ambas localidades hemos recopilado la siguiente información para confrontarla y así resaltar aspectos claves y útiles en la planeación y formulación de estrategias para integrar un plan de manejo de jurisdicción en ambas comunidades.

La importancia del presente trabajo es proporcionar información cualitativa y cuantitativa actualizada referente a los residuos sólidos generados en ambas localidades, mediante los resultados de los estudios realizados en cada localidad. A continuación una breve descripción de las localidades objeto de estudio desde una perspectiva del medio físico y biológico.

Capulálpam de Méndez es una localidad del estado de Oaxaca ubicada al norte del estado en la región Sierra Norte o también llamada Sierra Juárez, situada a 2040 msnm. En las coordenadas: latitud norte 17° 18', longitud oeste 96° 27'. Cuenta con una superficie de 19.14 Km^2 que representa el 0.02% de la superficie total del estado en la cual predomina un clima frio-húmedo, responsable de la gran biodiversidad que se alberga en sus bosques mesófilo de montaña y bosque de pino encino presentes en el territorio de la localidad.

Santa Catarina Lachatao también es una localidad del estado de Oaxaca ubicada al norte del estado en la región Sierra Norte o también llamada Sierra Juárez, situada a 2000 msnm. En las coordenadas 17° 16' de latitud norte y 96° 28' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 276.85 Km2 que representa el 0.29% de la superficie total del estado en la cual predomina un clima templado-húmedo, responsable de la presencia de bosques de pino-encino, pino, pino-oyamel, quienes a su vez dan refugio y alimento a una variedad de especies animales, vegetales y fúngicas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Estudio de generación

Los estudios de generación y caracterización de los residuos sólidos de tipo domiciliario realizados en las localidades de Santa Catarina Lachatao y Capulálpam de Méndez fueron realizados del 08 de marzo al 15 de marzo del 2010 respectivamente se realizó con base en la norma NMX-AA-61-1985 Protección al ambiente Contaminación de suelo Residuos sólidos municipales Determinación de la generación. De acuerdo con las indicaciones de esta norma, para obtener el número de viviendas a muestrear se requirió seleccionar un riesgo (α).

El muestreo se ejecuto de forma aleatoria simple para la localidad de Santa Catarina Lachatao y por conglomerados en Capulálpam de Méndez, para ello se utilizo la tabla de números aleatorios mostrados en la NMX-AA-61-1985; en un plano de la localidad se enumeraron todas las manzanas y se eligieron de manera aleatoria las que serían muestreadas. Ya elegidas las manzanas se realizó una visita a dichas manzanas para determinar cuántas viviendas estaban habitadas y enumerarlas para su posterior identificación. Posteriormente se encuestaron las viviendas de las manzanas seleccionadas, con el objeto de contar con su participación en el muestreo, se les explico que este estudio era importante para la determinación de la generación por tal motivo deberían de depositar en la bolsa únicamente lo que generaran ese día.

Mediante lo establecido en la NMX-AA-61-1985, se realizo el análisis de los resultados de generación de residuos, primeramente por cada peso obtenido de cada vivienda se dividió entre el número de habitantes y de esta forma se obtuvieron 7 datos de generación per cápita por día, posteriormente se saco un promedio por cada vivienda muestreada. Siguiendo la norma se realizo un rechazo de datos sospechosos mediante el criterio de Dixon, teniendo ya estos datos se obtuvo un promedio de generación por cada día y además su desviación estándar. Finalmente para

saber si la premuestra que tomamos era la correcta se aplico la siguiente fórmula:

$$n1 = \left(\frac{t\,s}{E}\right)^2$$

Donde:

n1 = Tamaño real de la muestra.

E = Error muestral en Kg/hab-día, recomendándose emplear un valor comprendido en el siguiente intervalo: 0.4 kg hab-día ≤ E ≤ 0.07 kg/hab-día

s = Desviación estándar de la premuestra.

t = Percentil de la distribución "t" de Student, correspondiente al nivel de confianza definido por el riesgo empleado en el muestreo.

2.3 Método de cuarteo

El método de cuarteo es un procedimiento a realizar previo a la determinación de los subproductos y del peso volumétrico. Según la NMX-AA-15-1985 protección al ambiente contaminación del suelo residuos sólidos municipales - muestreo - método de cuarteo este consiste en tomar las bolsas de polietileno utilizadas en el estudio de generación y vaciar su contenido en un área plana de piso y con techo, formando una pila, posteriormente estos residuos se homogenizaron es decir, igualar las características en todas las partes de la pila, luego esta pila se dividió en 4 secciones por partes iguales, entonces las partes opuestas se tomaron para calcular el peso volumétrico y las otras dos partes restantes se tomaron para realizar la determinación de los subproductos.

2.2 Selección y cuantificación de subproductos

Basándose en la Norma Mexicana NMX-AA-022-1985 Protección al ambiente-Contaminación de suelo Residuos sólidos municipales-Selección y cuantificación de subproductos se realizó el estudio de caracterización de los residuos sólidos para ello se utilizó la muestra obtenida mediante el método del cuarteo, y se seleccionaron diferentes tipos de subproductos que conformaban los residuos sólidos domiciliarios, en esta localidad estos fueron enlistados en el formato establecido y posteriormente, cada uno de los subproductos ya seleccionados fue pesado.

Con lo establecido en la NMX-AA-022-1985 para calcular el porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calcula con la siguiente fórmula:

$$PS = \frac{G_1}{G} x\ 100$$

Donde:

PS = Porcentaje del subproducto considerado.

G1 = Peso del subproducto considerado, en kg; descontando el peso de la bolsa empleada.

G = Peso total de la muestra (mínimo 50 kg).

El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes, debe ser como mínimo el 98% del peso total de la muestra (G). En caso contrario, se debe repetir la determinación.

2.4 Determinación del peso volumétrico

La determinación del peso volumétrico se realizó mediante la NMX-AA-19-1985 Protección al ambiente-Contaminación de suelo Residuos sólidos municipales-Peso volumétrico "In situ" con la muestra obtenida previamente en el método de cuarteo. Para llevar a cabo esto, se ocupó un tonel con capacidad de 200 L (0.2m3) que fue pesado previamente. Posteriormente, se le agregaron los residuos hasta que el recipiente se lleno por completo, este se dejó caer de una altura de 10 centímetros del suelo en 3 ocasiones para que los residuos se compactaran y nuevamente se volvieron a agregar residuos hasta llenar el tonel, finalmente fue obtenido el peso del tonel con los residuos.

Para el cálculo del peso volumétrico del residuo sólido s según la NMX-AA-19-1985 es mediante la siguiente fórmula.

$$P_v = \frac{p}{V}$$

Donde:

Pv = Peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m³

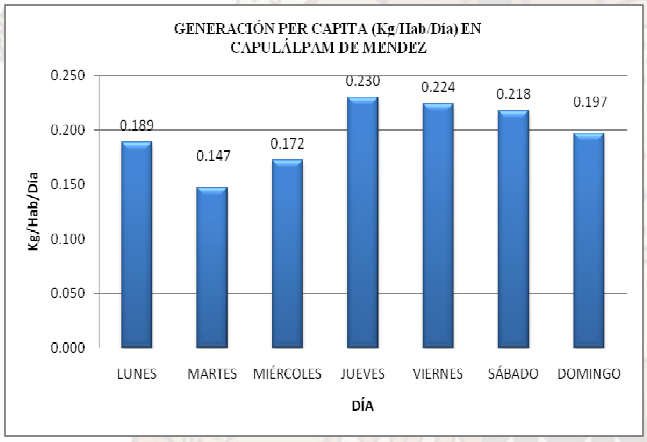
p = Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en kg

V = Volumen del recipiente, en m³

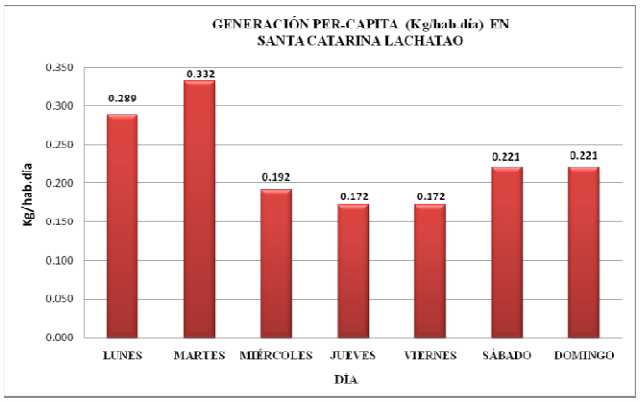
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis de los elementos funcionales del manejo de los residuos sólidos domiciliarios en las localidades en estudio.

3.1 Generación de residuos sólidos domiciliarios



Grafica 1. Variación de la generación per-cápita (Kg/Hab/Día) de los datos obtenidos durante la semana

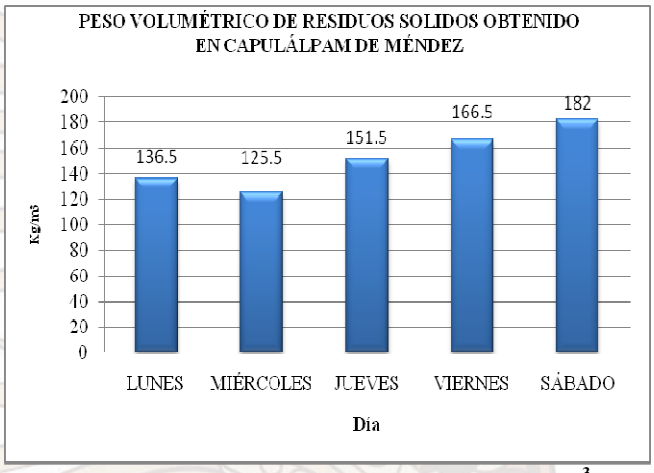


Grafica 2. Variación de la generación per-cápita (Kg/Hab/Día) de los datos obtenidos durante la semana

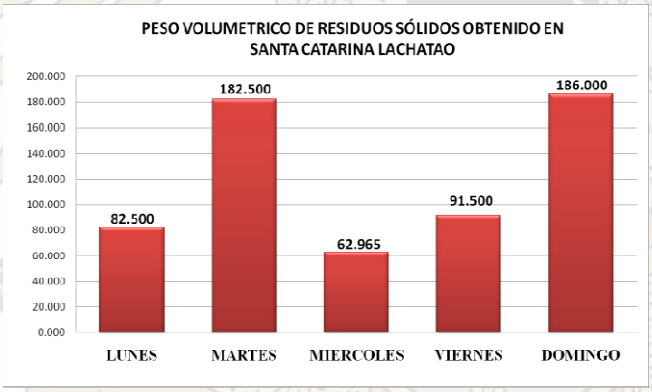
La generación promedio de residuos sólidos domiciliarios obtenido en la localidad de Capulálpam de Méndez fue de 0.198 Kg/Hab/Día, este resultado es ligeramente menor a la generación obtenida en la localidad de Santa Catarina Lachatao 0.215, esta variación es de 0.017 Kg estos resultados varían debido a que la composición de los residuos de estas 2 localidades son diferentes además de que los habitantes de estas localidades presentan diferentes hábitos de consumo y formas de vida.

En la localidad de Capulálpam de Méndez el nivel de urbanización es ligeramente superior que en Santa Catarina Lachatao por tal motivo hay más centros de servicios y aunado que en Capulálpam de Méndez un gran porcentaje de la población se encuentra ocupada dentro del sector secundario y terciario (86 %) y en Santa Catarina Lachatao la mayoría de las personas se encuentran ocupados en el sector primerio (83 %), esto es indicador que la población de Capulálpam tiende a adquirir una gama de productos de tipo inorgánico y en la localidad de Santa Catarina Lachatao la población tiende a consumir productos elaborados en su propia localidad o de su propia cosecha y con esta la generación de basura es mayor en peso , pero en volumen es menor.

3.2 Peso volumétrico



Grafica 3. Variación del peso volumétrico (Kg/m^3) en Capulálpam de Méndez.

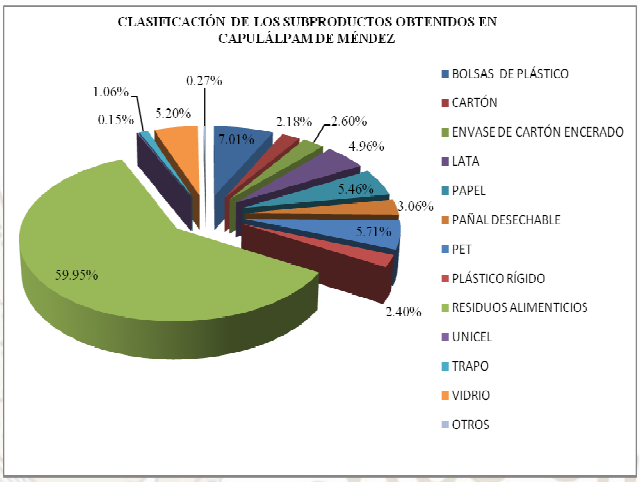


Grafica 4. Variación del peso volumétrico (Kg/m^3) en Santa Catarina Lachatao.

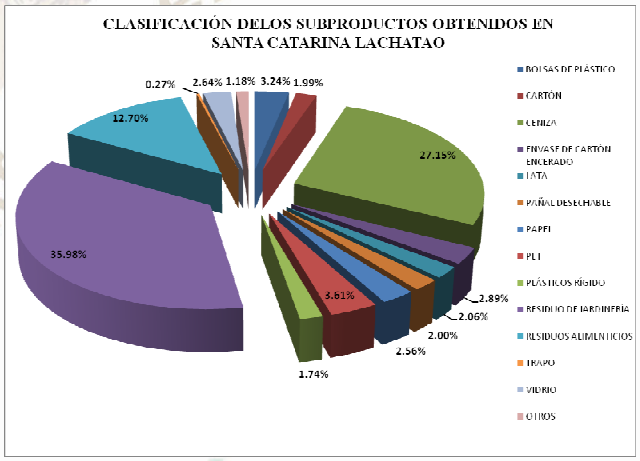
En ambos estudios la determinación de indicadores volumétricos, es de suma importancia para la definición y diseño de contenedores y áreas de almacenamiento para las diversas fuentes generadoras así como para proyectar las dimensiones de rellenos sanitarios, la determinación del número de unidades para él transporte de los residuos en función de su capacidad y para contribuir en el correcto manejo de los residuos sólidos, en base a que contar con un adecuado almacenamiento evita malos olores y la proliferación de fauna nociva, que pueden ocasionar daños al medio ambiente y a la salud pública.

El promedio del peso volumétrico en Capulálpam fue de 152.4 Kg/m3 y en Santa Catarina Lachatao fue de 122.093 Kg/m3, esto nos indica que entre más alto sea el valor más capacidad existe para que los residuos sean compactados, debido a que la composición de los residuos fue diferente en Capulálpam de Méndez al tambo le cupieron mas residuos por que los residuos inorgánicos pueden ser compactados con mayor facilidad que los orgánicos como se presentan en el caso de Santa Catarina Lachatao, en ellos los residuos de jardinería ocuparon un espacio mayor y mas difícil de compactar.

3.3 Caracterización y cuantificación de subproductos



Grafica 5. Clasificacion de los subproductos obtenidos en Capulálpam de Méndez.



Grafica 6. Clasificacion de los subproductos obtenidos en Santa Catrina Lachatao

El análisis de los subproductos en ambas localidades arrojó datos de la composición física de los residuos sólidos que a diario se generan. Comparando y analizando las graficas de los porcentajes de la composición expresan una notable diferencia, ya que para la localidad de Capulálpam de Méndez el mayor porcentaje corresponde a residuos alimenticios con un 60 %, seguido de las bolsas de plástico 7 %, papel y PET 6 % mientras que en Santa Catarina Lachatao los residuos de jardinería son los predominantes con un 35.98 % de la composición seguidos de un 27.15 % de ceniza, los residuos alimenticios ocupan un 12.70 % de la composición total, PET, papel, cartón encerado productos sintéticos están por debajo entre el 2 y 3 % del total de los subproductos contabilizados.

Con estos datos podemos inferir que la localidad de Capulálpam de Méndez por sus porcentajes registrados tiende a adquirir y consumir mayormente productos de origen sintético, como las bolsas de plástico distribuidas sin control en el mercado ambulante así como la falta de control en los diversos comercios expendio, los hábitos de consumo de bebidas embotelladas y productos del hogar a base de PET (tereftalato de polietileno), a diferencia de la localidad de Santa Catarina Lachatao en donde los porcentajes más altos los registran materiales de composición orgánica como son los residuos de jardinería ya que por lo general los espacios por vivienda son mayores y con cobertura vegetal mayor a los que presenta Capulálpam de Méndez, otro subproducto abundante son las cenizas que provienen de la combustión incompleta de la madera utilizada principalmente como combustible en la cocina. Una característica que favorece la reducción de los porcentajes de materiales inorgánicos en la localidad de Santa Catarina Lachatao son las reglas impuestas por la Autoridad Municipal en cuanto a la prohibición de materiales a base de unicel que por lo regular son utilizadas en fiestas o expedidas en los comercios, una de las causas por las que su porcentaje en la caracterización fue casi nulo.

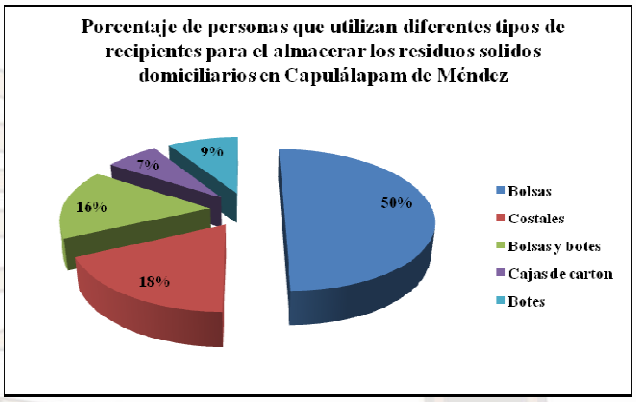
3.4 Estimacion de la generacion en Capulálpam de Mendez y Santa Catarina Lachatao.

Tabla 1. Gneracion de residuos solidos municipales domiciliarios de las localidades en esstudio.

Localidades	Número de habitantes	Generación Per-cápita (Kg/Hab/Día)	Generación diaria (Ton/Día)	Generación anual (Ton/Año)
Capulálpam de Méndez	1313	0.198	0.260	94.891
Santa Catarina Lachatao	199	0.215	0.042	15.165

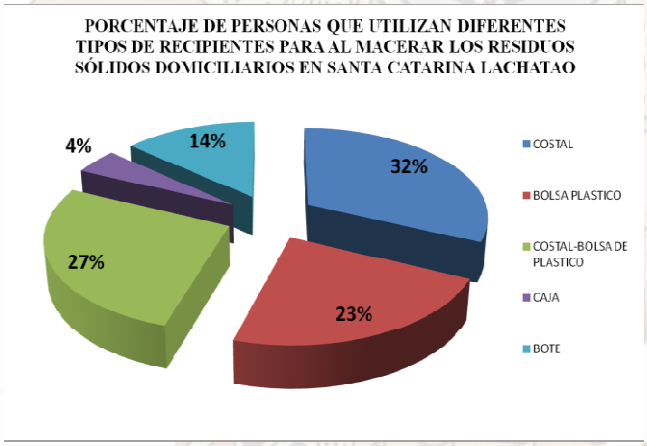
Los resultados arrojados en la proyección que se realizó de la generacion diaria y anual en ambas localidades es diferente, ya que la localidad de Capulálpam es mayor a la de Santa Catarina Lachatao, este es un factor importante porque entre mayor número de habitantes, mayor sera la generacion diaria y por consecuencia la anual.
Sin embargo es importante señalar que de los residuos generados, no todos son enviados con el camion recolector al tiradero municipal, en ambas localidades de acuerdo a las encuestas realizadas un porcentaje considerable mencionó realizar una separación de los residuos alimenticios que generalmente son utilizados como alimento para sus animales de corral o para abonar sus terrenos, asi mismo en estos resultados de generacion no esta contemplado la generacion de residuos solidos no domiciliaros, auque en ambas localidades no existen industrias, ni grandes comercios, pero las escuelas son las que generan el mayor porcentaje de estos residuos.

3.5 Resultado de las encuestas realizadas a los habitantes de Capulálpam y Santa Catarina Lachatao para conocer el manejo de los residuos solidos en sus hogares.



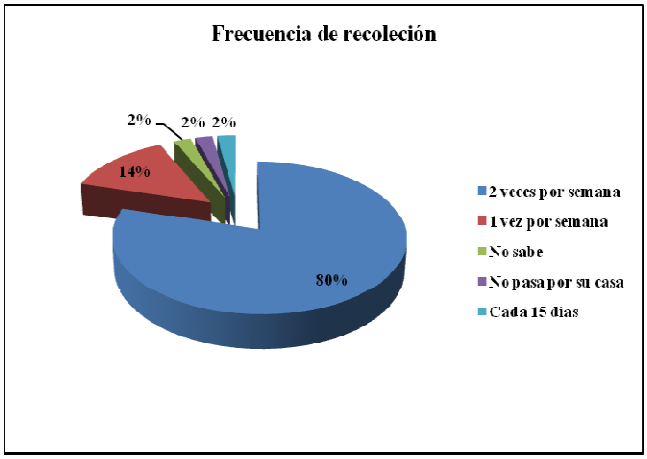
Grafica 7. Recipiente utilizado para el almacenamiento de los residuos solidos domiciliarios en Capulálpam de Méndez.

En Capulálpam de Méndez el recipiente más utilizado son las bolsas (50%), esto se debe a que las personas en sus hogares tienen bolsas de las compras que han realizo además de ser la forma de almacenamiento más sencillo porque se pueden cerrar y además retienen los lixiviados, las cajas de cartón son el recipiente menos utilizado para el almacenamiento de basura, en estos casos las cajas de cartón no son adecuadas para el almacenamiento de residuos de tipo alimenticio porque no puede retener los lixiviados.



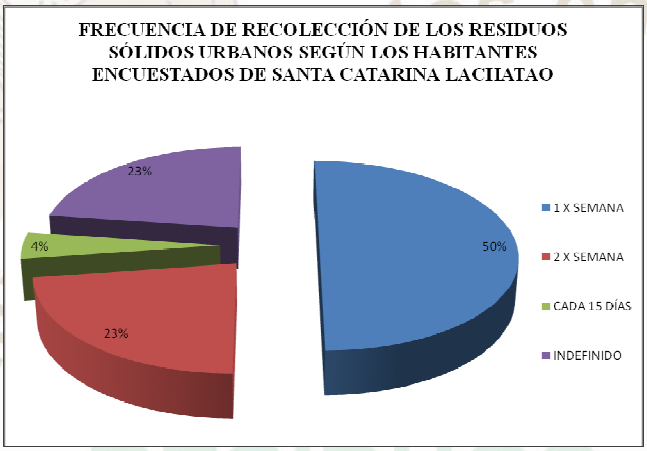
Grafica 8. Recipiente utilizado para el almacenamiento de los residuos solidos domiciliarios en Santa Catarina Lachatao.

El recipiente mayormente mencionado fue el costal con (32%), seguido de las bolsas y botes de plástico. Cabe señalar que no hay una amplia diferencia entre los recipientes mencionados por los encuestados.



Grafica 9. Frecuencia de recoleccion de los residuos solidos en Capulálpam de Méndez.

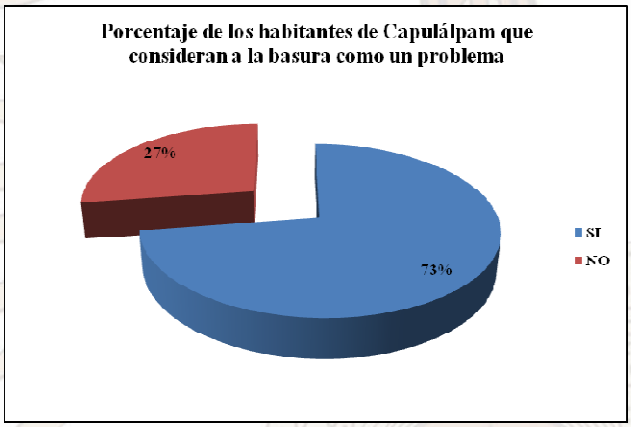
La frecuencia de recolección en Capulálpam de Méndez, es de 2 veces por semana pero en esta grafica se muestran que existen otras frecuencias, pero estas representan las veces que las personas depositaban sus residuos al carro no es que no pasen. Hay partes en las que el carro recolector no pasa, en estos lugares el carro no tienen acceso por que son callejones.



Grafica 10. Frecuencia de recoleccion de los residuos solidos en Santa Catarina Lachatao.

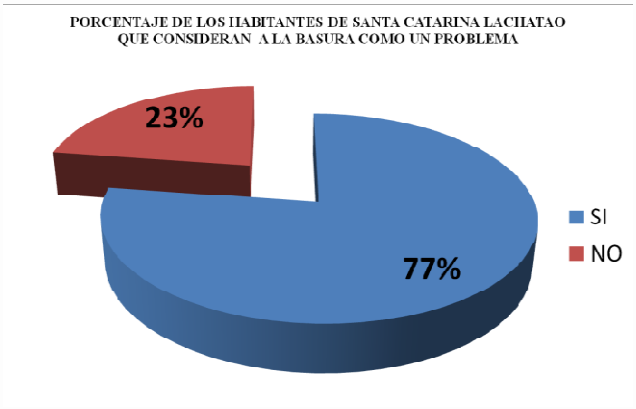
La falta de un orden u horario establecido hacen que haya disparidades en cuanto a la opinión acerca de la frecuencia de recolección de residuos sólidos por parte de la autoridad municipal en el caso de ambas localidades. En el

caso de Santa Catarina Lachatao la opinión predominante fue de una recolección por semana mientras que en Capulálpam de Méndez fue de cada 15 días, información que contrasta con los responsables de ambas localidades pues en Santa Catarina Lachatao la fecha de recolección no está establecida mientras que en Capulálpam de Méndez es dos veces por semana.



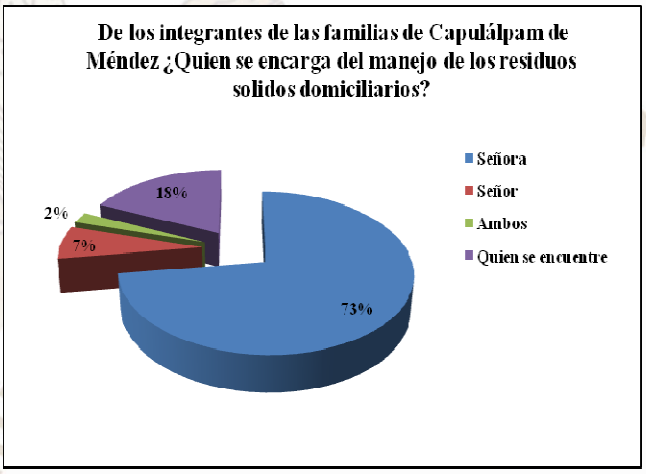
Grafica 11. Porcentaje de los habitantes que consideran a la basura como un problema.

Los resultados de las encuestas nos muestran que la mayoría de las personas (73%) opinan que la basura es un problema, las personas comentaron que esto se debe que hay más personas y por lo tanto es mas lo que se genera, hay otras comentan que es una fuete de contaminación y otras que es un problema porque puede causar enfermedades. Las personas que opinaron que no es un problema argumentaron que es porque no hay basura en las calles y por que el carro recolector pasa seguido por su basura y finalmente otras comentaban que hace falta educación ambiental con respecto a la manejo de los residuos sólidos.



Grafica 12. Porcentaje de los habitantes que consideran a la basura como un problema.

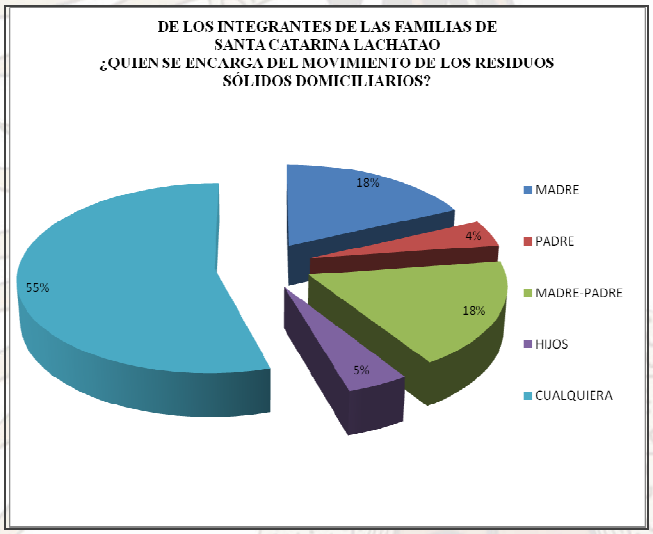
En cuanto a la percepción de los habitantes de Santa Catarina Lachatao, la mayoría coincide en que la basura en su localidad representa ya un problema, la cantidad de bolsas que se expenden con los productos en las tiendas así como las envolturas de productos chatarra consumidos generalmente por los niños son una fuente de generación de basura.



Grafica 13. De los integrantes de las familias en Capulálpam de Méndez ¿Quien se encarga del manejo de los residuos sólidos domiciliarios?

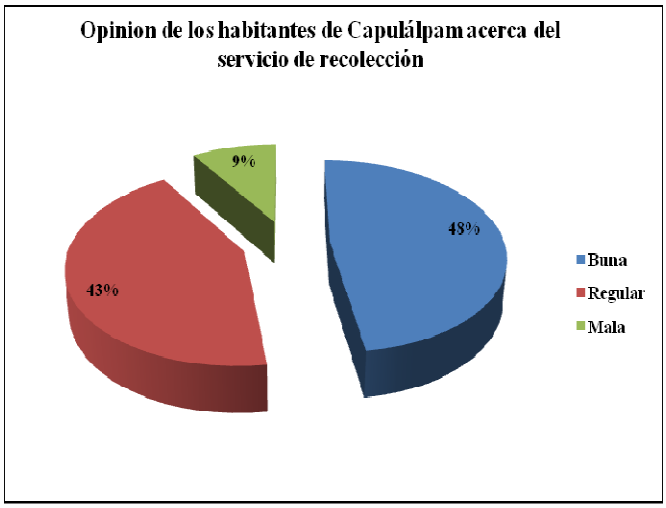
Como se muestra en la grafica 16 en Capulálpam de Méndez, el 73% de las personas entrevistas comentaron que las mujeres son las encargadas del manejo de las basura en sus especialmente las señoras del hogar, debido a que ellas son las que se encuentran cuando el carro recolector pasa o

ellas se encargan de la limpieza de sus casas, un porcentaje menor nos menciono que ambos el señor y señora, además el 18 % nos menciono que quien se encuentre en la casa se encarga de sacar la basura o de hacer la limpieza de la misma.



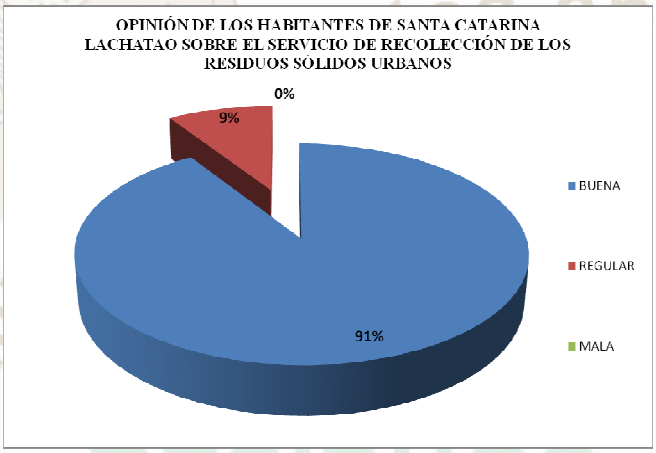
Grafica 14. De los integrantes de las familias en Santa Catarina Lachatao ¿Quien se encarga del manejo de los residuos sólidos domiciliarios?

En cuanto a la responsabilidad de controlar y manejar los residuos a nivel vivienda se puede observar que no hay una marcada, pues el mayor porcentaje de los encuestados menciono que cualquier integrante de la familia se encarga del movimiento ya sea en tipos de tratamiento a nivel del hogar o para sacar los residuos cuando el camión recolector realiza su ruta de recolección.



Grafica 15. Opinión de los habitantes de Capulálpam de Méndez acerca del servicio de recolección.

Esta grafica muestra que 48 % de las personas opinan que el servicio de recolección es bueno, pero también un porcentaje considerable opina que el servicio es regular, las personas que tenían esta opinión comentaron que en ocasiones las personas encargadas de dicho servicio pasan muy rápido y no les da tiempo de salir o también que se les pide que entreguen su basura clasificada, pero en el carro recolector la revuelven.



Grafica 16. Opinión de los habitantes de Santa Catarina Lachatao acerca del servicio de recolección.

El 91% de los encuestados comentaron en que el servicio de recolección por parte de la autoridad

municipal es bueno, el restante 9 % califico como regular quedando la opción mala en 0%.

Los comentarios referentes a la ruta de recolección es que en periodos es inestable y tiene que llevarla directamente al basurero o la mayoría coincidió en almacenarla hasta que el camión recolector pasara.

IV. CONCLUSIONES

La generación per- cápita de los residuos sólidos, es un parámetro importante para la toma de decisiones en lo que se refiere a la elaboración de Planes de Manejo Integral de Residuos Sólidos Municipales, el conocimiento de dichos resultados sirvieron para realizar la estimación total de generación de residuos sólidos en toda la localidad.

Con base a los estudios y análisis es importante la implementación de un Plan de Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos de jurisdicción local para ambas localidades acorde a sus necesidades, dinámica, fortalezas y debilidades.

Las encuestas realizadas a las personas fue una fuente de información para el concoimiento de la manera en la que se maneja la basura dentro de los hogares de ambas localidades

Es importante la implementación de programas enfocados a la educación ambiental en ambas localidades para exponer la información acerca de las alternativas de tratamiento de los residuos sólidos urbanos, así como dinámicas de trabajo enfocadas a la capacitación e instrucción de alternativas de tratamiento como lombricomposta en las viviendas.

V. RECONOCIMIENTOS

Se agradece la participación de todas las personas que nos apoyaron en la realización de este estudio de ambas localidades Capulálpam de Méndez y Santa Catarina Lachatao, asimismo de las autoridades municipales apoyándonos con el equipo y material utilizados para este estudio, así mismos se agradece la participación del M.I.A Miguel Ángel Curiel Olivera por su asesoría en este trabajo y finalmente a la Universidad de la Sierra Juárez por el préstamo de equipo.

VI. REFERENCIAS

Norma Mexicana NMX-AA-61-1985 Protección al ambiente Contaminación de suelo Residuos sólidos municipales Determinación de la generación.

Norma Mexicana NMX-AA-15-1985 Protección al ambiente contaminación del suelo residuos sólidos municipales - muestreo - método de cuarteo.

Norma Mexicana NMX-AA-022-1985 Protección al ambiente-Contaminación de suelo Residuos sólidos municipales-Selección y cuantificación de subproductos.

Norma Mexicana NMX-AA-19-1985 Protección al ambiente-Contaminación de suelo Residuos sólidos municipales-Peso volumétrico “In situ”.

TCHOBANOGLOUS, GEORGE (1994). Gestión Integral de Residuos Sólidos. Volumen I. 1a. Edición en español. Editorial McGraw Hill; Madrid, España.

Estudios de generación, caracterización y determinación de peso volumétrico de residuos sólidos en localidades del Estado de Oaxaca

Oliverio González Alafita, Miguel Ángel Curiel Olivera
Instituto Tecnológico de Oaxaca, Universidad de la Sierra Juárez.
Oaxaca, Oaxaca, México.
email: oliveriogonzalez1@prodigy.net.mx; curiel@juppa.unsij.edu.mx

Resumen

La información obtenida mediante estudios de generación y caracterización de los residuos sólidos urbanos (RSU) en los centros de población es fundamental para llevar a cabo una gestión integral de los residuos, además, de que es información necesaria para establecer el diagnóstico básico de cada localidad, el cual es la base para el diseño de programas enfocados hacia la gestión y manejo integral de los mismos. A partir del diagnóstico se pueden generar propuestas cuyos objetivos pueden ser: la reducción de los residuos en la fuente, la separación y el aprovechamiento, la evaluación de las condiciones de almacenamiento, la evaluación y diseño de rutas de recolección, el transporte y la disposición final de los residuos.

En el presente trabajo se presentan los resultados de estudios de generación, caracterización y determinación del peso volumétrico en localidades del Estado de Oaxaca, estudios que han sido realizados por Profesores-Investigadores del Instituto Tecnológico de Oaxaca, La Universidad del Mar y la Universidad de la Sierra Juárez. En total son 11 estudios en localidades del estado de Oaxaca, ubicadas en diferentes regiones del estado: Mixteca (Heroica Ciudad de Tlaxiaco); Costa (Santa María Huatulco, la Crucecita Huatulco y Puerto Ángel); Valles Centrales (San Jacinto Amilpas y Santiago Tenango); Istmo (Salina Cruz y Ciudad Ixtepec); Sierra Norte (Ixtlán y Guelatao de Juárez); y en la Sierra Mixe (Tamazulapam del Espíritu Santo).

Palabras clave: Residuos, Generación, Caracterización, Peso volumétrico.

Abstract

The information obtained through studies of generation and characterization of solid waste in the communities, is essential to establish the basic diagnostic of each locality. This is the fundamental basis for the design of programs focused on integrated management of solid waste. Based on the diagnosis, proposals are generated in which the objectives could be: reducing waste at source, separation and recovery of, assessing the conditions of storage, evaluation and design of collection routes, transport and the final disposal of waste.

This paper presents the results of studies on generation, characterization and determination of volumetric weight in some communities of Oaxaca State, studies that have been made by professor-researchers from the Instituto Tecnologico de Oaxaca, La Universidad del Mar and the University de la Sierra Juarez. A total of 11 studies in localities of the state of Oaxaca, located in different regions of the state: Mixteca (Heroica Ciudad de Tlaxiaco); Costa (Santa María Huatulco, la Crucecita Huatulco and Puerto Ángel); Valles Centrales (San Jacinto Amilpas y Santiago Tenango); Istmo (Salina Cruz and Ciudad Ixtepec); Sierra Norte (Ixtlan and Guelatao de Juárez); and the Sierra Mixe (Tamazulapam del Espíritu Santo).

Keyword: Waste, Generation, Characterization, Volumetric weight.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) se define a los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) como aquellos que son generados, a través de la eliminación de materiales utilizados en las actividades domésticas, los cuales son productos que se consumen y que a su vez generan envases, embalajes o empaques. Así mismo, pertenecen a esta clasificación los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de los establecimientos ubicados en las localidades o en la vía pública y que tengan características domiciliarias, finalmente entran en esta categoría los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.

La LGPGIR reglamenta las disposiciones de la Constitución en lo que se refiere a la protección

al ambiente, en materia de prevención y gestión de los residuos, y establece bases para instaurar: principios de valorización, responsabilidad compartida, manejo integral, criterios de gestión integral, mecanismos de coordinación entre entidades, mercado de subproductos y participación de la sociedad.

La generación de residuos involucra actividades en las cuales los mismos, además de ser generados, son almacenados de forma temporal y depositados en los vehículos encargados de llevar a cabo la recolección. La información de generación puede cuantificarse en peso ó volumen, pero es muy común que este valor sea expresado como generación per-cápita Kg/hab-día (kilogramos por habitante por día), obtenido a partir de la realización de los estudios de generación. Los estudios de generación y caracterización de los RSU representan información básica para conocer las cantidades que son generadas y las características de los residuos de una localidad.

Las características de los residuos permiten conocer los tipos y porcentajes de residuos generados (subproductos); el peso volumétrico de los mismos representa información fundamental para la propuesta de diseño e implementación del tratamiento. Dentro de los componentes de los RSU, se pueden encontrar los siguientes materiales: residuos orgánicos, productos de la elaboración de los alimentos y sobrantes de comida, hojas y restos de jardinería, papel, cartón, madera y en general materiales biodegradables; residuos inorgánicos, tales como vidrio, plástico, metales, cauchos, material inerte y otros.

El conocimiento de los datos de generación, caracterización y peso volumétrico de los RSU en una localidad, también permite planificar, sobre una base sólida, una Gestión Integral de Residuos adecuada, tal como la define la Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios realizados en cada una de las localidades del presente trabajo, se basaron, en lo establecido por las Normas Mexicanas (NMX), en donde se especifican los procedimientos a seguir para obtener los resultados de generación per cápita, cuantificación de subproductos (caracterización) y peso volumétrico.

1. Estudios de Generación de las localidades en estudio.

Los estudios de generación de los residuos sólidos de tipo domiciliario se realizaron con base en la norma NMX-AA-61-1985 (Protección al ambiente-Contaminación de suelo-Residuos sólidos municipales-Determinación de la generación). De acuerdo a esta norma, para obtener el número de viviendas a muestrear se seleccionó un riesgo determinado (α) el cual arrojó el dato de tamaño de muestra en cada caso, lo anterior tomando en cuenta los recursos disponibles en cada localidad para la realización del estudio de generación.

El muestreo de las viviendas se hizo por conglomerados, es decir, en un plano de cada localidad dividido en manzanas se enumeraron todas y cada una de las manzanas y se eligieron de manera aleatoria aquellas que serían consideradas para el estudio; la selección de las mismas se llevó a cabo utilizando una tabla de números aleatorios. La razón por la cual se llevó a cabo el muestreo por conglomerados obedece a que es un muestreo más económico y que requiere menos personal para realizarlo. Una vez elegida las manzanas, se procedió a entrevistar a los habitantes de cada una de las viviendas que conforman las manzanas para verificar que fuera un número mayor de viviendas a las de la premuestra seleccionada. Se descartaron del muestreo aquellas viviendas en las que se desarrollara una actividad diferente a la de casa-habitación, como por ejemplo: tiendas, talleres mecánicos o cualquier otro tipo de giro comercial o de servicios.

El muestreo de las manzanas seleccionadas se realizó durante 8 días consecutivos y las fechas

de realización de los estudios en cada una de las localidades se indican en la tabla 2. El primer día, se efectuó una "operación de limpieza", pues solo se recolectaron los residuos acumulados con anterioridad en las viviendas y se trasladaron a los sitios destinados para su disposición final. A partir del segundo día, se recogió la bolsa de cada vivienda y se entregó una nueva. Los residuos entregados fueron pesados diariamente y registrados individualmente durante toda la semana.

El análisis estadístico de los resultados de generación de residuos se realizó también mediante la aplicación de la norma NMX-AA-61-1985. Efectuando en cada caso el análisis de rechazo de datos sospechosos mediante el criterio de Dixon, obteniendo finalmente el promedio de la generación de residuos *per cápita* y los valores de la desviación estándar en cada caso.

Para dar cumplimiento a la confiabilidad propuesta al inicio de cada uno de los estudios en cada localidad, se cálculo el tamaño real de la muestra, el cual debió ser igual o mayor que el tamaño de la premuestra considerado inicialmente para aceptar el riesgo propuesto en cada caso. En caso de no cumplir lo establecido anteriormente, será necesario un nuevo muestreo para completar el número de datos requeridos y establecidos en el cálculo de la muestra real.

2. Estudios de Caracterización de las localidades en estudio.

Con relación a los estudios de caracterización de los residuos sólidos se utilizó la muestra obtenida mediante el método del cuarteo (Norma Mexicana NMX-AA-015-1985), y también con base en la Norma Mexicana NMX-AA-22-1985 (Protección al ambiente-Contaminación de suelo-Residuos sólidos municipales-Selección y cuantificación de subproductos). Para la obtención de los datos de caracterización se realizó una separación diaria durante el periodo del estudio de generación de cada localidad, durante éste se separaron y cuantificaron los distintos subproductos contenidos en la masa de residuos sólidos domiciliarios.

Para calcular el porcentaje en peso de cada uno de los subproductos encontrados se utilizó la siguiente ecuación contenida en la NMX-AA-22-1985.

$$PS = \frac{G1}{G} \times 100$$

Donde:
PS = porcentaje del subproducto
G1 = peso del subproducto (kg)
G = peso total de la muestra (kg)

3. Determinación del Peso Volumétrico de las localidades en estudio.

4.

Con la muestra obtenida a partir del método de cuarteo y tomando como referencia la Norma Mexicana NMX-AA-19-1985 (Protección al ambiente-Contaminación de suelo- Residuos sólidos municipales- Peso volumétrico "In situ") se obtuvo el peso volumétrico de los residuos sólidos domiciliarios de cada localidad. El procedimiento a seguir fue el siguiente: en un tonel con capacidad de 200 L (0.2 m^3), el cual fue pesado previamente, se adicionaron los residuos sólidos hasta llenar por completo el recipiente, durante el proceso de llenado se dejó caer a una altura de 10 centímetros del suelo en 3 ocasiones, y finalmente se volvieron a agregar residuos hasta llenar el recipiente, para obtener el peso volumétrico de los residuos sólidos.

$$Pv = \frac{P}{V}$$

Donde:
Pv = peso volumétrico de los residuos sólidos domiciliarios (kg/m^3)
P = peso de los residuos sólidos (kg)
V = volumen del recipiente (m^3)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se presentan las localidades en estudio con sus características generales y en las cuales se realizaron los estudios de generación, ca-

racterización y determinación del peso volumétrico.

Tabla 1. Localidades de Estudio.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
Localidad: Tlaxiaco Región: Mixteca Distrito: Tlaxiaco Superficie (Km^2): 343.2 Altitud (msnm): 2050 Latitud Norte: 17º 16' 02" Longitud Oeste: 97º 40' 47" Población (INEGI 2000): 29,002 Habitantes
Localidad: Santa María Huatulco Región: Costa Distrito: Pochutla Superficie (Km^2): 579.2 Altitud (msnm): 225 Latitud Norte: 15º 49' 57" Longitud Oeste: 96º 19' 11" Población (INEGI 2000): 5,190 Habitantes
Localidad: La Crucecita, Huatulco Región: Costa Distrito: Pochutla Superficie (Km^2): 579.2 Altitud (msnm): 26 Latitud Norte: 15º 46' 06" Longitud Oeste: 96º 08' 22" Población (INEGI 2000): 12,585 Habitantes
Localidad: San Jacinto Amilpas Región: Valles Centrales Distrito: Centro de la Ciudad de Oaxaca Superficie (Km^2): 12.7 Altitud (msnm): 1550 Latitud Norte: 17º 06' 02" Longitud Oeste: 96º 45' 45" Población (INEGI 2000): 8,343 Habitantes
Localidad: Salina Cruz Región: Istmo Distrito: Tehuantepec Superficie (Km^2): 113.5 Altitud (msnm): 52 Latitud Norte: 16º 30' 10" Longitud Oeste: 95º 11' 45" Población (INEGI 2000): 76,392 Habitantes
Localidad: Santiago Tenango Región: Valles Centrales Distrito: Etla Superficie (Km^2): 196.5 Altitud (msnm): 2050 Latitud Norte: 17º 19' 28" Longitud Oeste: 97º 00' 15" Población (INEGI 2000): 1,721 Habitantes
Localidad: Ixtlán de Juárez Región: Sierra Norte Distrito: Ixtlán Superficie (Km^2): 548.6 Altitud (msnm): 2030 Latitud Norte: 19º 19' 52" Longitud Oeste: 96º 29' 14" Población (INEGI 2000): 2,201 Habitantes
Localidad: Guelatao de Juárez Región: Sierra Norte Distrito: Ixtlán Superficie (Km^2): 22.9 Altitud (msnm): 1780 Latitud Norte: 17º 19' 05" Longitud Oeste: 96º 29' 35" Población (INEGI 2000): 754 Habitantes
Localidad: Ciudad Ixtepec Región: Istmo Distrito: Juchitán Superficie (Km^2): 229.6 Altitud (msnm): 40 Latitud Norte: 16º 34' 00" Longitud Oeste: 95º 06' 00" Población (INEGI 2000): 22,720 Habitantes
Localidad: Puerto Ángel, Oaxaca Región: Costa Distrito: Pochutla Superficie (Km^2): 421.0 (Municipio de San Pedro Pochutla) Altitud (msnm): 20 Latitud Norte: 15º 29' 00" Longitud Oeste: 96º 37' 00" Población (INEGI 2000): 2,473 Habitantes
Localidad: Tamazulapam del Espíritu Santo Región: Sierra Norte Distrito: Mixe Superficie (Km^2): 63.8 Altitud (msnm): 2040 Latitud Norte: 17º 03' 00" Longitud Oeste: 97º 04' 00" Población (INEGI 2005): 6,132 Habitantes

En la tabla 2 se indican los resultados de La generación per cápita, la más alta se da en las poblaciones urbanas e industrializadas, en donde las

fuentes de trabajo son abundantes y permiten que sus habitantes tengan la posibilidad de adquirir una gran variedad de productos de todo tipo, Salina Cruz y Ciudad Ixtepec, son un ejemplo de esto. En contraste los datos de generación para poblaciones rurales son menores, ejemplo de ello son las localidades de: Santiago Tenango, Ixtlán de Juárez y Tamazulapam del Espíritu Santo.

Se presentan también en esta tabla los resultados de la generación per-cápita para cada una de las localidades estudiadas.

Tabla 2. Resultados de generación per cápita en las localidades en estudio.

Localidad	Fecha de realización del estudio	Estrato social	No. de habitantes	Generación per cápita (kg/hab.día)	Generación Total (kg/día)
Tlaxiaco	11 al 17 de Junio del 2001	Medio, medio bajo y bajo	29,002	0.476	13,804.9
Santa Ma. Huatulco	10 al 18 de Septiembre del 2001	Medio, medio bajo y bajo	5,190	0.595	3,088.0
La Crucecita, Huatulco	27 de Agosto al 03 de Septiembre 2001	Alto, medio, medio bajo y bajo	12,585	0.595	7,488.1
San Jacinto Amilpas	2001	Alto, medio, medio bajo y bajo	8,343	0.508	4,238.2
Salina Cruz	23 de Agosto al 1 de Septiembre del 2003	Alto, medio, medio bajo y bajo	76,392	0.810	61,877.5
Santiago Tenango	31 de Marzo al 6 de Abril del 2004	Medio, medio bajo y bajo	1,721	0.462	795.1
Ixtlán de Juárez	22 al 31 de Ago. del 2004	Medio, medio bajo y bajo	2,201	0.269	592.1
Guelatao de Juárez	05 al 13 de Mayo del 2005	Medio, medio bajo y bajo	754	0.300	226.2
Ciudad Ixtepec	23 al 30 de Agosto del 2004	Medio, medio bajo y bajo	22,720	0.766	17,403.5
Puerto Ángel	04 al 11 de Mayo del 2005	Medio, medio bajo y bajo	2,473	0.621	1,535.7
Tamazulapam del Espíritu Santo	25 de Marzo al 1 de Abril del 2007	Medio, medio bajo y bajo	6,132	0.470	2,882.0

Tabla 3. Resultados en % en peso de los subproductos encontrados en las localidades en estudio.

SUBPRODUCTOS	TLAXIACO	SANTA MARÍA HUATULCO	LA CRUCECITA HUATULCO	SAN JACINTO AMILPAS	SALINA CRUZ	SANTIAGO TENANGO ETLA
RESIDUOS ORGÁNICOS UTILIZABLES PARA HACER COMPOSTA						
Cartón	2.00	12.76	3.10	2.23	2.90	4.00
Papel	4.00	5.22	3.86	3.98	1.23	3.24
Residuos alimenticios	59.00	10.24	45.02	26.64	17.65	12.97
Residuos de jardinería	6.00	21.48	1.49	29.08	44.76	17.29
Residuos de animales	-----	-----	-----	-----	-----	0.29
RESIDUOS ORGÁNICOS QUE SE PUEDEN RECUPERAR						
PET	2.00	-----	-----	1.39	3.14	2.34
Plástico rígido	2.00	5.83	5.40	2.41	3.52	4.56
Envase de cartón encerado	1.00	1.39	2.23	0.92	-----	1.60
RESIDUOS ORGÁNICOS QUE SE PUEDEN IR AL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL						
Algodón	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Fibra sintética	-----	-----	-----	-----	-----	1.50
Hueso	2.00	-----	-----	0.22	-----	0.13
Hule	-----	5.57	-----	0.24	1.60	2.31
Madera	-----	-----	0.38	0.23	-----	0.82
Pañal desechable	9.00	7.69	4.86	2.24	5.60	7.40
Unicel	2.00	-----	-----	1.57	0.41	0.78
Trapo	1.00	4.16	1.26	0.94	0.82	1.82
Cabello	-----	-----	-----	-----	-----	0.45
Cuero	-----	-----	-----	-----	-----	0.28
Bolsas de plástico	3.00	8.03		3.53	2.76	4.70
RESIDUOS INORGÁNICOS QUE SE PUEDEN RECUPERAR						
Vidrio transparente	1.00	2.78	2.44	1.27	2.46	7.30
Lata	-----	1.53	1.21	-----	2.53	6.49
Material ferroso	1.00	-----	-----	-----	-----	1.07
Vidrio de color	-----	-----	2.07	0.46	0.85	2.12
Lata de aluminio	-----	0.62	0.40	0.15	0.44	0.99
Metal	-----	-----	-----	-----	-----	-----
RESIDUOS INORGÁNICOS QUE SE PUEDEN IR AL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL						
Residuo fino	1.00	12.69	21.64	16.25	7.54	14.27
Envolturas	-----	-----		0.27	0.53	0.67
Loza y cerámica	-----	-----	-----	-----	-----	0.35
Material no ferroso	-----	-----	-----	2.83	-----	0.34
otros	4.00	-----	-----	3.54	1.24	-----

Cont. Tabla 3. Resultados en % en peso de los subproductos encontrados en las localidades en estudio.

SUBPRODUCTOS	IXTLÁN DE JUÁREZ	CIUDAD IXTEPEC	PUERTO ÁNGEL	TAMAZULAPAM DEL ESPÍRITU SANTO	GUELATAO DE JUÁREZ
RESIDUOS ORGÁNICOS UTILIZABLES PARA HACER COMPOSTA					
Cartón	5.52	3.08	2.10	3.22	3.35
Papel	6.68	7.19	4.40	3.93	8.11
Residuos alimenticios	41.47	10.61	31.30	29.77	29.00
Residuos de jardinería	1.02	48.82	30.90	-----	16.74
Residuos de animales	-----	-----	-----	-----	-----
RESIDUOS ORGÁNICOS QUE SE PUEDEN RECUPERAR					
PET	4.07	1.97	2.00	3.52	4.02
Plástico rígido	7.64	3.72	3.50	4.99	4.98
Envase de cartón encerado	1.77	1.11	1.30	0.43	2.31
RESIDUOS ORGÁNICOS QUE SE PUEDEN IR AL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL					
Algodón	0.01	-----	-----	-----	0.16
Fibra sintética	-----	-----		0.39	
Hueso	0.28	-----	-----	-----	0.34
Hule	0.92	0.03	-----	-----	0.13
Madera	0.10	0.16	-----	-----	0.45
Pañal desechable	8.44	3.82	4.30	2.83	5.26
Unicel	0.45	-----	-----	0.84	0.63
Trapo	0.99	2.07	1.50	2.24	2.10
Cabello	-----	-----	-----	-----	-----
Cuero	0.13	-----	-----	-----	-----
Bolsas de plástico	5.86	3.75	3.00	4.51	6.86
RESIDUOS INORGÁNICOS QUE SE PUEDEN RECUPERAR					
Vidrio transparente	3.05	1.54	2.60	9.23	1.75
Lata	2.03	-----	-----	2.95	2.51
Material ferroso	0.26	-----	-----	8.62	0.37
Vidrio de color	0.60	0.32	-----	-----	1.02
Lata de aluminio	0.22	0.29	-----	0.38	0.53
Metal	0.07	1.74	-----	-----	0.40
RESIDUOS INORGÁNICOS QUE SE PUEDEN IR AL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL					
Residuo fino	6.40	5.86	9.70	13.71	6.98
Envolturas	1.27	-----	-----	1.69	1.73
Loza y cerámica	0.45	-----	-----	-----	-----
Material no ferroso	-----	-----	-----	-----	0.214
otros	0.21	1.55	3.50	-----	1.00 (Pilas)

En la tabla 3 se muestran los resultados de la caracterización de las localidades en estudio. En las poblaciones localizadas cerca de la costa es común encontrar dentro de los residuos sólidos urbanos una gran cantidad de residuos de jardinería. Éste es el caso de las localidades de Salina Cruz, Santa María Huatulco, La Crucecita Huatulco y Puerto Ángel.

El mayor porcentaje de los residuos de alimentos se observa en las poblaciones en las cuales la mayoría de sus habitantes está dedicada a las actividades del sector primario, específicamente actividades relacionadas con el campo (Agricultura, ganadería, etc.). La ciudad de Tlaxiaco es una población con un gran número de habitantes, pero en donde todavía una gran parte de la población se dedica a las actividades primarias, de la misma forma que Ixtlán de Juárez donde una de las actividades principales es el aprovechamiento de los recursos forestales.

El municipio de Salina Cruz es la localidad con el dato más alto de generación de residuos sólidos, siendo necesaria la implantación de un reglamento que permita un mejor manejo y disposición final de los residuos. Así mismo, es necesaria la implantación de un programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos. Esta tarea debe ser promovida por las autoridades responsables en cada localidad que permita una búsqueda de soluciones al problema del manejo inadecuado de los residuos.

La generación de pañales desechables en las localidades representa un buen porcentaje, y no solamente se presenta en las localidades urbanas, también se presenta en localidades rurales. La localidad en donde se genera el mayor porcentaje de pañales desechables es Tlaxiaco y el que menor porcentaje presenta es San Jacinto Amilpas.

De acuerdo a los resultados el cartón se genera en mayor cantidad en lugares en que las actividades principales son el turismo, de servicios y comercio, ya que en estos lugares se adquieren una gran cantidad de productos que tienen una gran cantidad de empaque de cartón. El municipio de Santa María Huatulco genera un 12% de estos residuos del total que se genera en la población.

Otro de los componentes contenidos en la masa de residuos es la generación de las bolsas de plástico que se utilizan para almacenar infinidad de productos, desde alimentos hasta basura.

Los envases de PET son otra clase de residuo que su uso va en aumento, tanto en comunidades urbana como rurales, pues se representa un buen porcentaje en todas las localidades estudiadas.

Tabla 4. Valores de peso volumétrico de las localidades en estudio.

PESO VOLUMÉTRICO (Kg / m^3)	
Localidad	**Valor estimado**
Tlaxiaco	186.94
Santa María Huatulco	214.50
La Crucecita, Huatulco	143.30
San Jacinto Amilpas	162.90
Salina Cruz	168.50
Santiago Tenango Etla	110.10
Ixtlán de Juárez	116.43
Ciudad Ixtepec	196.75
Puerto Ángel	172.70
Tamazulapam del Espíritu Santo	128.01
Guelatao de Juárez	87.92

En la tabla 4 se muestran los resultados de la determinación del peso volumétrico para cada una de las localidades de estudio. El valor más alto se determinó en la localidad de Santa María Huatulco y el menor en Guelatao de Juárez, los valores determinados se encuentran en un rango establecido para una masa de residuos origen doméstico.

IV. CONCLUSIONES

Como resultado de los datos obtenidos en las localidades en estudio se puede concluir que la generación *per cápita* se incrementa en lugares urbanos donde existe una gran actividad económica o industrial. Ejemplo de ello es el municipio de Salina Cruz donde la generación per cápita pro-

medio es de 0.810 kg/hab·día, caso contrario se tiene en las comunidades rurales como Santiago Tenango donde la actividad principal es la agropecuaria, y la generación es de 0.462 kg/hab·día. Otro ejemplo es el municipio de Guelatao de Juárez que tiene una pequeña población, la cual genera 0.300 kg/hab·día.

Ante el creciente problema producido por la generación de residuos, originado por la gestión inadecuada de los mismos, es importante tomar medidas que permitan dar una solución al problema tanto del manejo como de la disposición final. Por otra parte existe una falta de esquemas de separación, aprovechamiento e infraestructura relacionada con el sistema de recolección y de disposición final.

En conclusión cada Municipio debe diseñar e implementar su programa de gestión integral de los RSU, basándose en el diagnóstico, mediante el cual se obtiene la información básica como la reportada en este estudio para todas las localidades en estudio. Es de esperar que la información aquí vertida, sirva para iniciar el proceso, que permita a estas mismas a mejorar las condiciones de manejo y disposición final actual. Finalmente cabe señalar que uno de los problemas que mayor atención requiere, debido al alarmante el deterioro ambiental, es el mal manejo de los residuos, siendo necesario que las autoridades tomen conciencia y atiendan este problema que es un común de todas las localidades aquí estudiadas.

V. RECONOCIMIENTOS

Los resultados aquí mostrados, son producto de un trabajo de varios años, derivado del quehacer académico y de un compromiso con la sociedad, en esa búsqueda de proporcionar información que permita a las localidades atender y reducir el impacto al ambiente generado por un manejo inadecuado de los residuos sólidos.

Los autores desean manifestar su agradecimiento a las instituciones que apoyaron la realización de cada uno de los estudios aquí mencionados, y entre las que se encuentran las siguientes:

Instituto Tecnológico de Oaxaca

Universidad del Mar

Universidad de la Sierra Juárez

Al Sistema de Investigación Benito Juárez, ya desaparecido, que financió parte de estos estudios.

Fomento Nacional al Turismo que dio las facilidades para realizar el estudio en la localidad de la Crucecita, Huatulco.

A las autoridades municipales de cada una de las localidades en estudio.

Así mismo, nuestro agradecimiento a los alumnos de las Instituciones educativas arriba mencionadas, que a través de la realización de servicio social, estancias profesionales y tesis participaron en la obtención de la información en estas localidades.

V. REFERENCIAS

Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. y Zepeda, F. (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América latina y el Caribe (Serie Ambiental No 18). Banco Interamericano de Desarrollo y Organización Panamericana de la Salud.

Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental y Agencia de Cooperación Técnica Alemana. (2003). La basura en el limbo: desempeño de gobiernos locales y participación privada en el manejo de residuos urbanos. México.

Escamirosa Montalvo, L.F., Del Carpio Penagos, C.U., Castañeda Nolasco, G. y Quintal Franco, C.A. (2001). Manejo de los residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México: Plaza y Valdés.

Diario Oficial de la Federación. (1985). Norma Mexicana NMX-AA-15-1985. Protección al ambiente-Contaminación de suelo-Residuos sólidos municipales-Muestreo-Método de cuarteo. México.

Diario Oficial de la Federación. (1985). Norma Mexicana NMX-AA-19-1985. Protección al ambiente-Contaminación

de suelo-Residuos sólidos municipales-Peso volumétrico "In situ". México.

Diario Oficial de la Federación. (1985). Norma Mexicana NMX-AA-22-1985. Protección al ambiente-Contaminación de suelo-Residuos sólidos municipales-Selección y cuantificación de subproductos. México.

Diario Oficial de la Federación. (1985). Norma Mexicana NMX-AA-61-1985. Protección al ambiente-Contaminación de suelo-Residuos sólidos municipales-Determinación de la generación. México.

González Alafita, O. (2004). Auditoría ambiental para organizaciones no industriales: municipio de San Jacinto Amilpas, Oaxaca. México: Carteles Editores.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2000). XII Censo general de población y vivienda, Principales resultados por localidad. México.

Tchobanoglous G., Theisen H. & Vigil S. (1994). Gestión integral de residuos sólidos. España: McGrawHill-Interamericana.

Modelo dinámico para determinar la generación de residuos de construcción y demolición

Jerónimo Takeshi Dohi Fujii[1] Sara Ojeda Benitez[2] Osvaldo Leyva Camacho[3]

[1]Estudiante del Programa de Doctorado en Planeación y Desarrollo Sustentable, UABC [2] Investigadora del Instituto de Ingeniería. UABC [3] Investigador de la Facultad de Arquitectura. UABC
Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal S/N Insurgentes Este 21280 Mexicali, B.C. México

Email: dohi@itesca.edu.mx

Resumen

En muchas ciudades del mundo se observa una tendencia para minimizar y, en su caso, reciclar los residuos de construcción y demolición. Lo anterior se debe a que las actividades de construcción consumen una gran cantidad de recursos naturales y a la vez generan un importante volumen de residuos. Es posible tener acceso a un buen número de artículos en los que se mencionan diferentes estrategias para dar solución a este problema que impacta al medio ambiente. Los residuos de construcción y demolición son parte de los residuos sólidos urbanos y son clasificados como no peligrosos. Sin embargo, su utilización inadecuada como material de relleno en barrancas, cauces de arroyos y lotes baldíos, provoca problemas de contaminación por lixiviados. Por ello es importante analizar la situación de ciudades como Ciudad Obregón en el Estado de Sonora, México, tomando en cuenta las características particulares del lugar tanto en el ámbito económico, como en lo social, cultural y político para proponer una gestión integral. El análisis comprende el conocimiento de tipos, volúmenes y disposición final de los residuos que se generan al construir, ampliar, remodelar o demoler edificios por medio de observación directa, entrevistas guiadas, encuestas y medición, Modelo dinámico que permite el diagnóstico del comportamiento de acumulación de RCyD. Se ha desarrollado un modelo utilizando Stella.

Palabras Clave – Residuos, Construcción y demolición, modelo dinámico, Generación

Abstract

In many cities of the world a tendency is observed to diminish and, where appropriate, to recycle the residues of construction and demolition. This situation is because the construction activities consume a great amount of natural resources and simultaneously they generate an important volume of residues. It is possible to have access to a good number of articles in which different strategies are mentioned to provide a solution to this problem that impacts the environment. The remains of construction and demolition are part of the urban solid residues and are classified as no dangerous. However, its inadequate use as filling material for ravines, streams banks and lots, brings pollution problems by leachate. For that reason it is important to analyze the situation of cities like Ciudad Obregon in the State of Sonora, Mexico, considering the particular characteristics of the place in the economic scope, as well as in the social, cultural and the political field, in order to propose an integral process. The analysis includes the knowledge of types, volumes and final disposition of the residues that are generated when constructing, extending, remodeling or demolishing buildings by means of direct observation, guided interviews, surveys and measurement, dynamic Model that allows the diagnosis of the accumulation of RCyD behavior. A model using Stella has been developed.

Keywords – Residues, Construction and demolition, strong model, Generation

I. INTRODUCCIÓN

Los residuos de construcción y demolición (RCyD) que genera la industria de la construcción , tanto en la edificación de nuevas unidades como en la demolición total o parcial de edificios cuyos materiales han cumplido con su ciclo de vida útil, o por el cambio de uso de sus locales o instalaciones, requiere de un tratamiento especial según investigadores de muchas ciudades alrededor del mundo, para llevar a cabo su minimización, separación, reutilización, recicla-

je y finalmente una disposición final adecuada. Así encontramos diferentes formas para reincorporar este tipo de residuos al medio ambiente de donde se han extraído, desde acciones como verterlos en barrancas, causes de arroyos y terrenos que requieren ser nivelados, ya sea en forma clandestina o controlada. El problema es que al no ser considerados como peligrosos, la disposición se lleva a cabo sin estudios previos para prevenir el impacto ambiental que se puede ocasionar en el medio ambiente. Ciudad Obregón en el Estado de Sonora no es una excepción de este tipo de acciones, aunque no se observan muchos tiraderos clandestinos, ya sea en la periferia de las colonias o fraccionamientos, o en lotes baldíos, sí se lleva a cabo el relleno de barrancas o terrenos hundidos, sobre todo en lugares de donde se ha extraído material de construcción – arenas, gravas o tierra para elaboración de ladrillo – o en las márgenes de canales principales o secundarios para riego de cultivos, generalmente sin un control adecuado. Por otra parte, no existe un relleno sanitario donde se podrían aprovechar en forma adecuada previo tratamiento. Sin embargo se encuentra en proceso la licitación para iniciar los trabajos de construcción de una de estas instalaciones, pero se requiere un estudio serio del comportamiento que tendrá este relleno sanitario a través de los años. Un modelo dinámico Stella permite conocer este comportamiento de acuerdo con diferentes variables de acuerdo con las características del lugar, siendo estas modificables y manipulables según las circunstancias del proyecto. En este trabajo se presenta como antecedente una recopilación bibliográfica de algunas acciones que se proponen a nivel mundial y un modelo dinámico de acuerdo con datos históricos y de campo basados en la observación del lugar.

.

DESCRIPCIÓN DEL SITIO

Ciudad Obregón en el municipio de Cajeme se encuentra ubicada en el Estado de Sonora, en la región Sur del Estado, a 260 kilómetros de Hermosillo y 526 kilómetros de la frontera con Estados Unidos (Fig. 1).



Figura 1. Ubicación de Ciudad Obregón

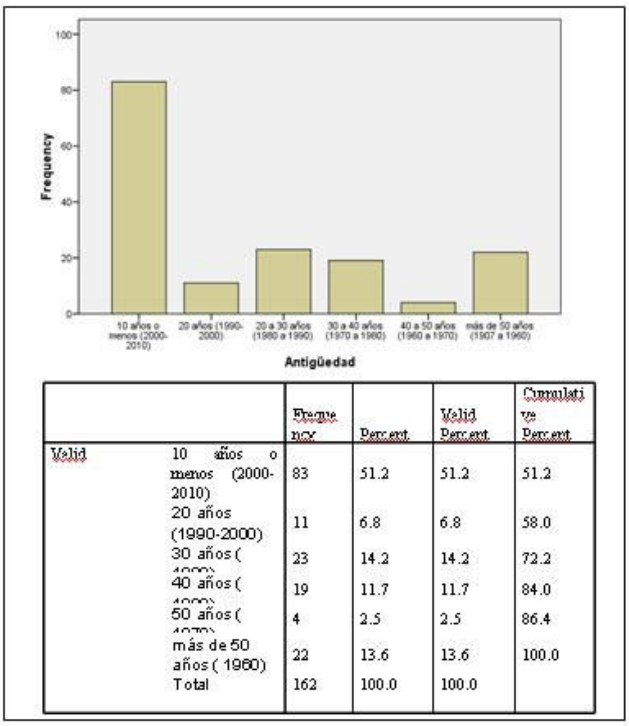
Ilustración cortesía de: Arq. Bruno García Llanes, profesor de ITESCA.

Esta se considera la 2ª. Ciudad más importante del Estado y el municipio al que pertenece cuenta actualmente con 383,477 habitantes. Aunque de acuerdo con proyecciones de CONAPO ésta ciudad no tendrá mucho crecimiento demográfico en un futuro, en los últimos años ha sido notorio un gran incremento en actividades de la industria de la construcción, sobre todo en edificación de todo tipo de casas habitación, desde viviendas de interés social en fraccionamientos, como de viviendas de tipo medio y residencias.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en ciudad obregón, en el Estado de Sonora. Para llevarla a cabo se practicaron observaciones in situ con el fin de analizar el estado de las construcciones e identificar las colonias y/o fraccionamientos con 50 o más años de antigüedad, estas construcciones son las más susceptibles de ampliación, remodelación o demolición (figura 2). El segundo criterio para seleccionar, fue identificar las prácticas de autoconstrucción o construcción en serie (fraccionamientos), ya que este tipo de vivienda presenta más posibilidades de controlar los resi-

duos y su disposición final. Las viviendas de autoconstrucción generan residuos que en mayor cantidad se depositan en tiraderos clandestinos o no controlados.



		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	10 años o menos (2000-2010)	83	51.2	51.2	51.2
	20 años (1990-2000)	11	6.8	6.8	58.0
	30 años (	23	14.2	14.2	72.2
	40 años (	19	11.7	11.7	84.0
	50 años (	4	2.5	2.5	86.4
	más de 50 años (1960)	22	13.6	13.6	100.0
	Total	162	100.0	100.0	

Figura 2. Antigüedad de colonias y fraccionamientos Ciudad Obregón

Para este trabajo las variables que intervienen en el modelo son: vivienda, crecimiento de la población, permisos para construcción residencial, ampliación, demolición o remodelación; reutilización y reciclaje de materiales de residuos o desperdicios.

Para fines prácticos se propone un peso promedio para los RCyD en las construcciones nuevas, aunque existe una variedad de materiales y procedimientos que se realizan en diferentes tipos de vivienda (popular, medio, residencial) existe uniformidad en la utilización y procesos constructivos de los mismos. Los volúmenes de RCyD que se generan de acuerdo con la actividad en el ramo de construcción se han considerado de acuerdo con lo siguiente: los residuos que se generan en construcciones nuevas se han calculado tomando como ejemplo los porcentajes de desperdicios para las principales actividades, de acuerdo con el método de cálculo de materiales propuesto por Suárez, (1994) para una vivienda de tipo medio de 82 m^2.

La tabla 1 muestra las cantidades de material de construcción más usuales en una construcción en procesos para edificación de una obra normal (materiales, procedimientos y acabados) y los porcentajes que se manejan como desperdicio.

En la tabla 2 se muestra un cálculo de los RCyD y la cantidad total que en teoría se genera en la construcción de una casa habitación de 82 m^2, tanto en volumen como en peso.

La tabla 3 es un cálculo de los residuos que se generan en obras de remodelación o ampliación y se han estimado de acuerdo con la observación del comportamiento del retiro de escombro durante el proceso de construcción de una vivienda ubicada en la colonia "Noroeste" de ciudad Obregón.

En lo que corresponde a actividades de demolición, en la tabla 4 se muestra la cantidad de materiales que se generan de acuerdo con los mismos datos obtenidos del ejercicio del libro Normas y Costos de Construcción.

Tabla 1. Materiales más utilizados en actividades de construcción (porcentaje de desperdicio de materiales de construcción para una casa habitación tipo de 82 m^2)

Porcentaje de desperdicio de materiales de construcción				
Procedimiento	**Material**	**Cantidad a utilizar en Ton.**	**Desperdicio %**	**Desperdicio Ton.**
Pasta de yeso	yeso	0.834	3	0.024
Pasta de cemento gris	Cemento gris	1.545	3	0.045
Mezclas de cal - arena	cal	0.258	3	0.008
	Arena	1.080	8	0.080
Mezclas mortero - arena	Mortero	0.309	3	0.009
	Arena	1.242	8	0.092
Mezclas cemento - arena	Cemento gris	0.618	3	0.018
	Arena	1.080	8	0.080
Concreto 200Kg/cm2	Cemento gris	0.268	3	0.080
	Arena	0.540	8	0.040
	Grava	0.734	8	0.054
Acero (alambre, alambrón, varilla)	Alambre Alambrón Varilla		10 2 3	
Cimbra de madera	Madera		20	
Colados de elementos de concreto reforzado o integral	Concreto		3	
Muros de tabique común	Tabique	52.44 Pza.	10	0.023 Kg/m2 0.00004 Ton/pza.
Muros de block de cemento	block		7	

Construcción propia con datos obtenidos de Suárez S., (1994)

En cuanto a lo que se refiere a remodelación, por la dificultad que presenta la cuantificación debido a que depende de las actividades a realizar y los elementos constructivos que se modifican, se ha optado por considerar un 10 % de los desperdicios que se generan en una demolición total (0.071 Ton/ m^2).

Para la elaboración de los modelos se utilizaron variables con datos extraídos de varias fuentes: bibliográficos, históricos y empíricos. Al no existir normas ni reglamentos sobre el manejo y disposición final de RCyD en la ciudad en que se estudia el caso, se ha recurrido a los datos que se manejan en la literatura recopilada relacionada con el tema, sobre reuso y el reciclaje, para proponer porcentajes, de acuerdo con indicadores mencionados por varios autores. Los datos para las variables de permisos de construcción y ampliación se recabaron de la Dirección de Desarrollo Urbano del municipio de Cajeme, y abarcan desde el año 2002 hasta el 2009: esos datos muestran el comportamiento de las actividades de la industria de la construcción con respecto al rubro de edificación de vivienda.

En los modelos Stella se utilizaron como variables independientes el crecimiento de la población, licencias de construcción emitidas, residuos de limpieza municipal, el reuso y el acarreo residencial.

Tabla 2 Cuantificación y peso de materiales considerados como desperdicio

Residuos de materiales utilizados en la construcción de una obra de 82 m^2				
Concepto	Cantidad (volumen) m^3	Cantidad (peso) Ton.	**Desperdicio**	
			Vol. m^3	Peso Ton.
Tierra producto de Excavación	20.00		20.00	30.000
Madera	93.29 P.T.		0.216	
Concreto	9.02 m^3		0.270	0.324
Cemento		5.44	0.123	0.163
Arena	14.06 m^3		1.12	1.680
Grava	6.23 m^3		0.494	0.747
Aceros		0.872		0.026
Diesel	0.118 m^3		0.118	
Tabique	6597 pza.		0.721	0.263
Calhidra	0.11 m^3	0.275	0.019	0.022
Cartón asfáltico	108.20 m^2			
Asfalto		188.25 Kg.		0.009
Yeso		5.000 Ton.	0.180	0.120
Total			23.261	33.444

Construcción propia con datos obtenidos de: Suárez S., (1994)

El volumen por m^2 de construcción sería como sigue: 3.261 $m^3/82m^2$ = 0.039 m^3/m^2

El peso por m^2 de construcción sería: 33.444 $Ton/82m^2$, o sea = 0.407 Ton $/m^2$

En el primer caso los datos se han obtenido de indicadores municipales de proyección de la población 2005 a 2050 del Consejo Nacional de Población (CONAPO) y en el segundo son datos duros proporcionados por la Subdirección de Desarrollo Urbano del municipio de Cajeme. La variable de limpieza municipal (barrido de calles y limpieza de terrenos baldíos) se ha incorporado al modelo como una opción que afecta la capacidad del relleno, aunque por lo pronto no se tienen datos concretos debido a que no existen registro de los volúmenes ni la composición de los mismos. En lo que respecta al reuso (recuperación de materiales) en el primer modelo se ha considerado una mínima proporción debido a que solo se recuperan empaques para fabricación de láminas de cartón y residuos de varillas y otros metales. Sin embargo para el segundo modelo se han tomado en cuenta reportes de indicadores de otras partes del mudo por ejemplo de la Unión Europea (UE) que han sido encontrados en diversos artículos.

En cuanto al Stock de los residuos residenciales, este se puede ver afectado por variación en los materiales recuperados, aunque para este modelo no se ha contemplado tal situación. Por otra parte para el stock del relleno sanitario en este caso particular no se considera la implementación de las 3R (recuperación, reutilización y reciclaje) pero se ha incorporado como una salida que podría evitar la saturación y colapso del relleno.

Una vez recopilados los datos se han utilizado dos modelos: el primero en el cual como se ha

mencionado el reuso y reciclaje es mínimo, lo que nos permite dar a conocer el diagnóstico del comportamiento del relleno sanitario en un lapso de diez años y por otra parte lo que sucedería de implementarse una adecuada gestión integral que aplique estrategias de reducción, reducción, recuperación y reciclaje de RCyD en el municipio.

Tabla 3. Residuos de materiales de obra en remodelación y ampliación

Superficie remodelada	77.00 m2
Superficie ampliada	143.73 m2
Camiones de volteo con 12 m3 de volumen c/u	4
Peso de camión de volteo vacío (tara)	10,220 Kg
Peso de camión de volteo cargado	25,310 Kg
Total de RCyD retirados	60,360 Kg
Peso de RCyD por m2 construido	419 Kg

Elaboración propia con datos obtenidos en campo.

Nota: como se puede apreciar, las cifras obtenidas por medio de cálculo de RCyD que se generan en la construcción de una casa habitación de 82 m^2 son muy similares a las que arroja la observación en campo –la diferencia es de 0.012 ton. Por m^2— por lo tanto se ha tomado como bueno para el análisis la cantidad de 0.407 ton. x m^2 para licencias de construcción o ampliación.

Se llevó a cabo una investigación bibliográfica para conocer variables como el crecimiento de la población del municipio, que influye en la expansión de la ciudad con un posible incremento del número de viviendas a construir para satisfacer la demanda, lo cual a su vez determina un cierto número de licencias para construcción, ampliación, remodelación o demolición de casas habitación.

Tabla 4. Volumen de RCyD producto de demoliciones.

Material de desecho que con mayor frecuencia y peso se genera en una demolición	Cantidad (volumen) m^3	Cantidad (peso) Ton.
Concreto	9.02 m^3	19.844
Cemento		5.44
Arena	14.06 m^3	16.872
Grava	6.23 m^3	7.476
Aceros		0.872
Diesel	0.118 m^3	
Tabique	6597 pza.	2.454
Calhidra	0.11 m^3	0.275
Cartón asfáltico	108.20 m^2	
Asfalto	188.25 Kg.	0.188
Yeso	.	5.000
Total		58.241

Construcción propia con datos obtenidos de Suárez S., (1994)

De la tabla 4 se deduce el Peso de RCyD por actividades de demolición:

58.241Ton/82 m^2 = 0.710 Ton/ m^2

Si observamos la figura 3 elaborada con datos del Consejo Nacional de Población (CONAPO) en una proyección de la población desde 2005 hasta 2050, la población del municipio de Cajeme tiene una tendencia a permanecer estable con casi nulo crecimiento, y por el contrario un ligero decrecimiento a partir del año 2012.

Se recabaron datos duros sobre las licencias de construcción y ampliación emitidas por la Subdirección de Desarrollo Urbano del municipio de Cajeme, en un período que comprende desde el año 2002 hasta el 2009 (Tabla 5), lo que nos dio a conocer la cantidad de metros cuadrados, como datos históricos que contribuyen a la proyección hasta el año 2020 que es el tiempo de vida útil (mínimo período para SEMARNAT) del relleno sanitario, sin embargo es de notarse un incremento desmesurado a partir de 2005 con la proliferación de unidades habitacionales para vivienda popular de los llamadas "fraccionamientos" con casas habitación tipo, en su mayor parte con superficies promedio de 38 m^2, por tanto, observando el comportamiento del creci-

miento de la población que muestra cierta estabilidad, se han utilizado todos los datos desde 2002 a 2009 por las tendencias observadas en la tabla 5.

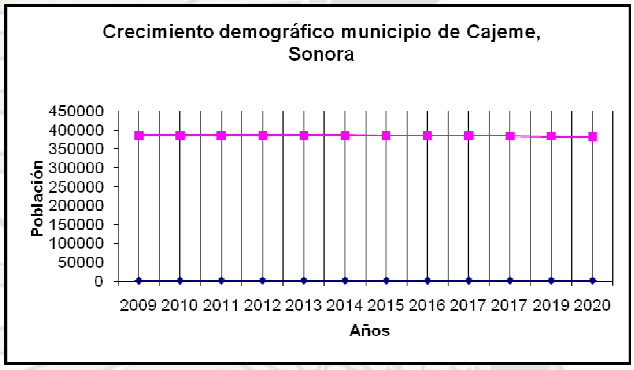


Fig. 3. Crecimiento Demográfico

Fuente: Consejo Nacional de Población (CONAPO)

Tabla 5. Licencias para construcción y ampliación de vivienda

Licencias (permisos) 2002-2009 Ciudad Obregón								
Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Construcción	14677	19300	24648	22580	113078	205173	238178	134104
Ampliación	2747	3935	5534	4887	4444	17654	19358	12701
Remodelación	Poco registro en m2 o son de múltiples conceptos							1567
Demolición	Poco registro en m2 o son de múltiples conceptos							2433

Elaboración propia con datos de la Dirección de Desarrollo Urbano del Municipio de Cajeme

Generación de RCyD per cápita

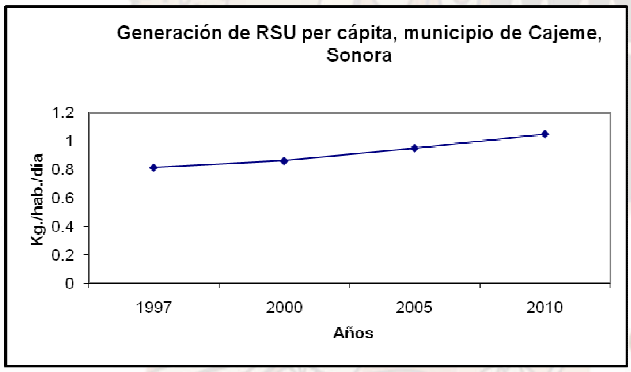


Fig. 4. Generacion per capita

Con los datos sobre volumen de RCyD en peso y los más recientes (año 2009 de las tablas 4 y 5), es posible estimar el volumen que se genera por cada habitante (Fig. 4) del municipio de acuerdo con cada actividad como sigue:

RCyD generados por actividades de Construcción:

Licencias de construcción x volumen en Ton,/m^2 (134,104 m^2 x 0.407 Ton/m^2) = 54,580 Ton.

Entonces: toneladas totales / No. De habitantes (54,580/383,145) = **0.142 Ton./habitante/año**

RCyD generados por actividades de Ampliación:

Licencias para ampliación x volumen en Ton./m^2 (12,701 m^2 x 0.407 Ton, /m^2) = 5,169 Ton.

Entonces: toneladas totales / No. De habitantes (5169/383,145) = **0.013 Ton./habitante/año**

RCYD por actividades de Remodelación:

Licencias para remodelación x volumen en Ton/m^2 (1,567 x 0.071 Ton/m^2) = 111 Ton.

Entonces: toneladas totales /No. De habitantes = 111/383,145= **0.0002 Ton./habitante/año**

Cálculo de capacidad de Relleno sanitario

Para la capacidad del relleno sanitario se tomó como referencia la normatividad de INE, SEMARNAT, 1999 con los siguientes datos:

Vida útil del relleno sanitario = 0.12 Ha por Ton generada /día para una vida útil de 10 años (aunque se tiene conocimiento de que el proyecto del relleno es para 20 años, este dato no se ha confirmado).

Acopio de RSU: un contenedor de 6 m^3 por cada 12500 habitantes

Centro de transferencia: una estación de transferencia por cada 500 y 1000 Ton/día

Centro de transferencia: 1,200 m^2 y 900 m^2 para la estación de transferencia

Generación diaria (Plan de desarrollo Urbano Cajeme: 400 Ton/día

Generación per cápita de RSU Cajeme 2010= 1.0478Kg/día

Generación total Cajeme 2010=90,209 Ton/año

Área del relleno sanitario= 12 Ha.x 90209/365= 2965 Ha

Capacidad RSU del relleno sanitario (para 10 años 90209 x 10 años = 902090 Ton.

Capacidad RCyD del relleno sanitario (para 10 años) de (estimado según datos internacionales 20 a 30% del relleno sanitario) = 902090 x .20 = 180418 Ton

RCyD generados por actividades de Demolición:

Licencia para demolición x volumen en Ton/m^2 (2433 x 0.71) = 1727 Ton.

Entonces: toneladas totales /No. De habitantes = 1,727/383,145= **0.004Ton./habitante/año**

Toneladas por habitante:

Toneladas totales de RCyD municipio de Cajeme (Fig. 5)

∑54,580 + 5,169 + 111 + 1,727 = **61,587 Ton.**

∑ 0.142+0.013+0.0002+0.004=

0.1592 Ton/habitante por año

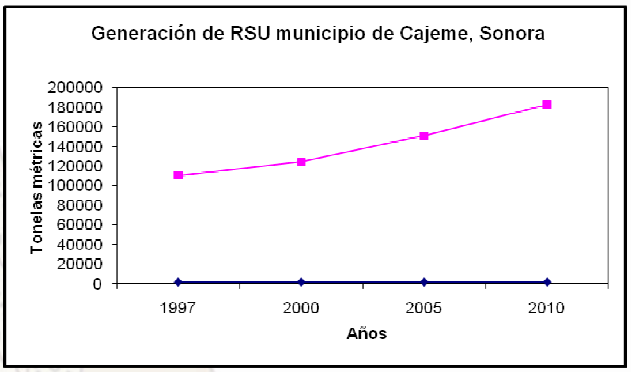


Fig. 5 Generación RSU por año

Capacidad de estación transferencia: 1.0478 x 383477 x 0.20 = 80361 Kg/día

Generación de RCyD para el año 2010, 90209 x .20 = 18041 Ton

Generación de RCyD por día en 2010 = 400 x .20 = 80 Ton/día

RCyD para variables (datos para modelos)

1. Generación de RCyD en toneladas/m^2 construcción y ampliación (cálculo propio)…0.155 Ton/m2
2. Generación de RCyD en toneladas /m^2 demolición (cálculo propio tabla 4)…0.710 Ton/m2

3. Generación de RCyD en toneladas /m^2 remodelación (levantamiento) 0.042 Ton/m2

4. Generación total de RCyD en toneladas/m^2 = (1+2+3) = 0.907 Ton/m2

Para llevar a cabo un diagnóstico del comportamiento del relleno sanitario se ha utilizado el software Stella versión 9.0.3 en el que se han elaborado dos posibles escenarios: el primero presenta el comportamiento con la situación actual en que no se contempla ninguna o muy reducidas actividades de reutilización o reciclaje de RCyD, y un segundo con una propuesta de implementación de las actividades mencionadas

Discusión

En Ciudad Obregón no existe una instalación adecuada para relleno sanitario, por lo cual los RSU son depositados en un tiradero a cielo abierto, mezclados con otros tipos de residuos

La inexistencia de normas y reglamentos que regulen la disposición final de los RCyD en Ciudad Obregón dificulta su cuantificación ya que no hay registro alguno de los volúmenes, tipos y composición que se generan, Por ello para la elaboración de los modelos dinámicos con Stella se ha recurrido a las cantidades en m2 de licencias para construcción, ampliación, remodelación o demolición emitidas por la Dirección de Desarrollo Urbano, esto ya se ha hecho en otros países como mencionan Tahira y Ozkan (2002, p. 494) quienes utilizaron este procedimiento en Turquía para recopilar datos. También en Estados Unidos de Norteamérica Wuang, Touran, Christoforou y Fadlalla (2004) se basaron en las licencias de construcción para su investigación y elaboración de su sistema para analizar el manejo de los RCyD.

Resultados

A primera vista es notoria la situación del relleno sanitario proyectado para Ciudad Obregón en el municipio de Cajeme, con una simple ecuación se podría conocer el resultado:

Capacidad del relleno, menos RCyD acumulables en un período de 10 años = déficit o superávit de espacio para disposición (ecuaciones 1 y 2), como sigue:

1. 180,418 – (80 x 365 x 10) =
2. 180,418 – 292,000 = -111,582Ton.

Sin embargo se requiere la elaboración de un modelo que no solo permita conocer el comportamiento, sino que, además las variables sean susceptibles de manipulación para buscar alternativas que permitan remediar una situación de desborde y colapso.

En un primer modelo se trata de la acumulación de los RCyD durante un período de 10 años, mismo que se tiene calculado para un relleno sanitario que cumpla con las normas de SEMARNAT, los resultados se muestran en las gráficas de las figuras 7 a 12.

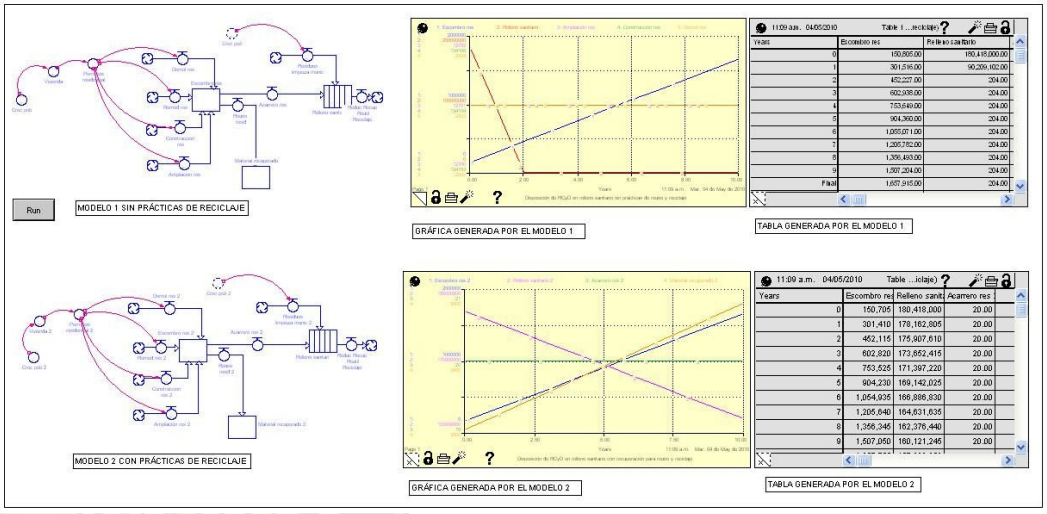


Figura 7. Modelos dinámicos de comportamiento de RCyD y relleno sanitario

En la fig. 7 se muestran los dos modelos y sus resultados y a continuación se presenta el modelo en el que no se consideran prácticas de reciclaje (fig. 8) en este modelo cuyos resultados son la gráfica de la fig. 9 y la tabla de la figura 10, se aprecia como después de dos años de funcionamiento, la capacidad del relleno sanitario (línea 2) se vería superada por la acumulación de RCyD (línea 1), así a partir de los 2 años de funcionamiento la capacidad para recibir este tipo de residuos es de apenas 204 Kg.

El 2°. Modelo se muestra en la figura 11y en las figuras 12 y 1**3** se aprecia tanto en la gráfica como en la tabla, como al término de un período de 10 años, si se llevan a cabo prácticas de reducción, recuperación y sobre todo de reciclaje, el relleno sanitario (línea 2) todavía presenta una capacidad (en este caso de 155,000 toneladas) para RCyD (línea 1).

Conclusión

El uso de modelos dinámicos permite manipular los escenarios de acuerdo con cambios en las variables, sin embargo, es preciso señalar que el análisis indica que se requiere mayor profundidad en estos estudios para definir y proponer una gestión integral que cumpla con los requerimientos de la protección al ambiente por medio de las 3R's posibles: Recuperación, Reutilización y Reciclaje más una cuarta posible que sería la de Reducción. En la figura 14 se presenta un modelo de gestión integral para el manejo y tratamiento de los RCyD. En cuanto al comportamiento de las variables en el caso analizado, se reitera el hecho de que el crecimiento de la población prácticamente no tiene una influencia para el comportamiento de las variables dependientes, sin embargo, tomando en cuenta que no son indicadores estáticos, sino que en un momento pueden cambiar de acuerdo a circunstancias diversas derivadas de cambios como el mejoramiento de la calidad de vida, la migración del campo a la ciudad o desarrollo y crecimiento económico, es que se ha tomado en cuenta como una variable que puede ser manipulada para presentar cambios en los escenarios esperados.

Y en lo que corresponde a las variables de licencias de construcción, se requiere un mayor control para la generación, manejo y disposición final de RCyD, así como un registro adecuado para trabajar con indicadores más apegados a la realidad.

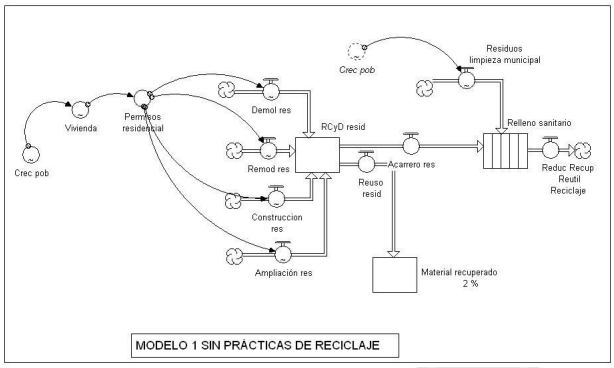


Fig. 8. Modelo en que no se consideran prácticas de reuso y reciclaje

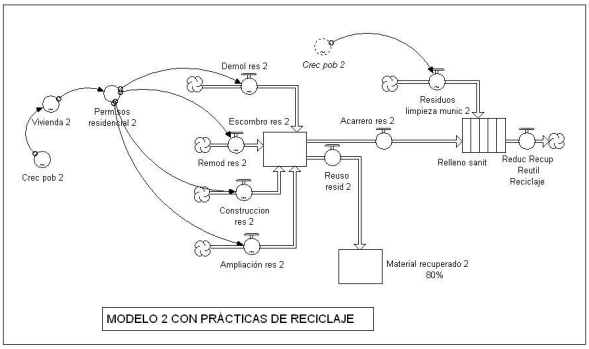


Fig. 11. Modelo de comportamiento de relleno sanitario con prácticas de reciclaje

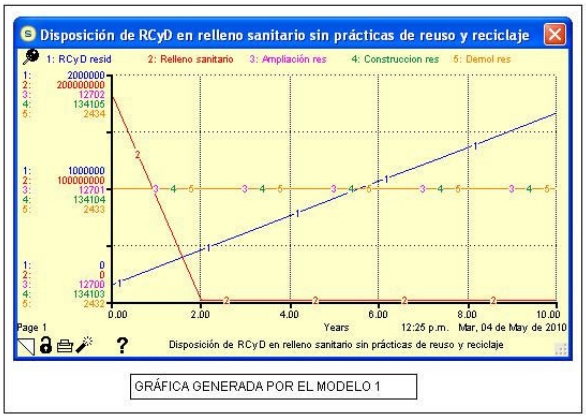
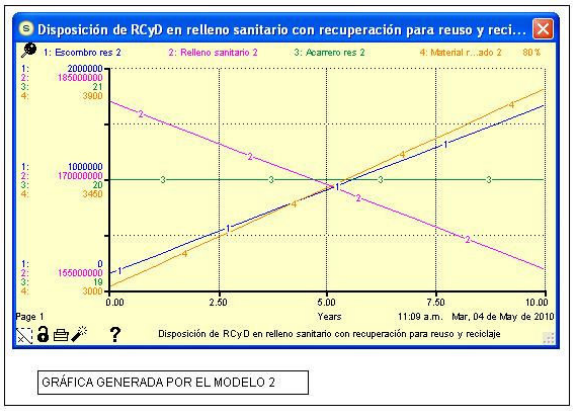


Fig. 9 Gráfica de comportamiento sin prácticas de reciclaje



. 12 Gráfica de comportamiento de relleno con prácticas de reciclaje

Disposición de RCyD en relleno sanitario sin prácticas de r...

04/05/2010 Table 1 (Dis...o y reciclaje)

Years	RCyD resid	Relleno sanitar	Ampliación res
0	150,805	180,418,000	12,701
1	301,516	90,209,102	12,701
2	452,227	204	12,701
3	602,938	204	12,701
4	753,649	204	12,701
5	904,360	204	12,701
6	1,055,071	204	12,701
7	1,205,782	204	12,701
8	1,356,493	204	12,701
9	1,507,204	204	12,701
Final	1,657,915	204	

TABLA GENERADA POR EL MODELO 1

Fig. 10 Tabla de comportamiento sin prácticas de reciclaje

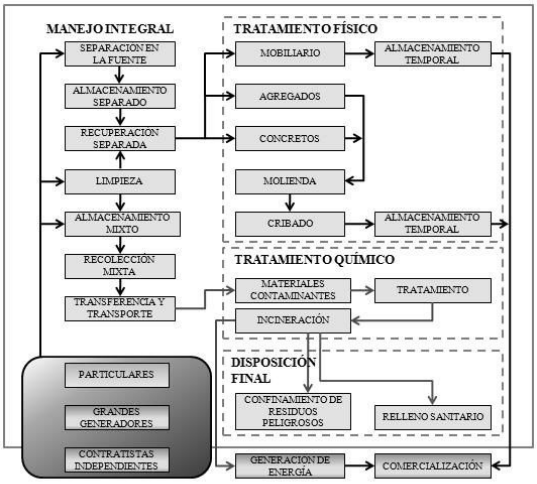
Disposición de RCyD en relleno sanitario con prácticas de reu...

04/05/2010 Table 2 (Disp...so y reciclaje)

Years	Escombro res 2	Relleno sanitari	Acarrero res 2
0	150,705	180,418,000	20.00
1	301,410	178,162,805	20.00
2	452,115	175,907,610	20.00
3	602,820	173,652,415	20.00
4	753,525	171,397,220	20.00
5	904,230	169,142,025	20.00
6	1,054,935	166,886,830	20.00
7	1,205,640	164,631,635	20.00
8	1,356,345	162,376,440	20.00
9	1,507,050	160,121,245	20.00
Final	1,657,755	157,866,050	

TABLA GENERADA POR EL MODELO 2

Fig. 13 Tabla de comportamiento de relleno con prácticas de reciclaje



Modelo de ciclo para el manejo de residuos de construcción y demolición en Ciudad Obregón, Sonora

Fig. 14. Propuesta para manejo integral de RCyD en Ciudad Obregón, Sonora

Agradecimientos y reconocimientos

Dra. Sara Ojeda Benítez (Directora de tesis)

Dr. Osvaldo Leyva Camacho (Asesor)

Dr. Martin Villa Ibarra (Cotutor de tesis y Director de Gestión ambiental para el desarrollo sustentable del municipio de Cajeme)

Maestro en Arq. Bruno Garcia Llanes (quien proporcionó datos duros de licencias emitidas por la Subdirección de Desarrollo Urbano 2002-2008)

Arq. Luis Alberto Cuevas Othon Subdirector de Planeación Urbana del Municipio de Cajeme, (quien proporcionó datos actualizados de licencias de construcción, remodelación, demolición y ampliación emitidas 2009, 2010)

Colaboradores para investigación del doctorado (alumnos de Servicio Social de ITESCA):

Arquitectas: Adriana Sánchez G. y María Isabel Campos M. y de Ingeniería Ambiental: Miguel A. Armenta G.

Ing. Sergio Ivan Pérez Rodríguez y Arq. Andrea Clark Amado, analistas de proyectos del municipio de Cajeme

Referencias

Ayuntamiento de Cajeme (1999) *Reglamento en materia de preservación, conservación y restauración del equilibrio ecológico y el mejoramiento del ambiente para el municipio de Cajeme* H. Ayuntamiento de Cajeme

Bianchini, Marrochino, Tassinari y Vaccxaro (2005), *Recycling of construction and demolition waste materials: a chemical–mineralogical appraisal*, Waste Management 25 (2005) 149–159. Consultada de: www.elsevier.com/locate/resconrec Página Web con restriccion

Cochran, Townsend, Reinhart y Heck (2007) *Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: Case study for Florida, US,* Waste Management 27 (2007) 921–931. Consultada de: www.elsevier.com/locate/resconrec Página Web con restriccion

http://www.conapo.gob.mx/00cifras/proy/municipales.xls consultada el 1 de mayo de 2010

Cosgun y Esin (2006) *A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey*, Building and Environment 42 (2007) 1667–1674. Consultada de: www.elsevier.com/locate/resconrec Página Web con restricción

Huang, Lin, Chang y Lin-K, (2002), *Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process.* Resources, Conservation and Recycling 37 (2002) 23_/37. Consultada de: www.elsevier.com/locate/resconrec Página Web con restricción

Kartam, Mutairi, Ghusain y Al.Humoud (2004), *Environmental management of construction and demolition waste*, Waste Management 24 (2004) 1049–1059. Consultada de: www.elsevier.com/locate/resconrec Página Web con restricción

Nunes, Malher, Valle y Neves (2006) *Evaluation of investments in Recycling centres for construction and demolition wastes in Brazilian municipalities.* Waste Management 27

(2007) 1531-1540. Consultada de: www.elsevier.com/locate/resconrec Página Web con restricción

Rao, Jha y Misra (2007), *Use of aggregates from recycled constructionand demolition waste in concrete*, Resources, Conservation and Recycling 50 (2007) 71–81. Consultada de: www.elsevier.com/locate/resconrec Página Web con restricción

Rivera Mera y Gutiérrez Palacios (2004) *Análisis del impacto ambiental por la inadecuada disposición de residuos de la construcción y demolición en el Valle de Méxi-*

co y propuestas de solución, Primer Encuentro Nacional de Expertos de Residuos Sólidos, en el marco del 50 aniversario de UABC. Universidad Autónoma de Baja California

SEMARNAT /Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2003, *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.* SEMARNAT , México

Suarez Salazar Carlos (1994) *Costo y Tiempo en Edificación*, Editorial Limusa, México, 13va Edición

Tahira y Ozkan (2002), *Recycling rubble into aggregates: a model for local governments,* Habitat International 25 (2001) 493–502. Consultada de: www.elsevier.com/locate/resconrec Página Web con restricción

Townsend, Jang y Thurn (1999) *Simulation of Construction and Demolition Waste Leachate*, Journal of Environmental Engineering/november 1999

U. S. Environmental Protection Agency (200)), *Reduce and reuse* .Consultado el 15 de septiembre de 2009

Wang, Touran, Christoforou y Fadlalla (2004), *A systems analysis tool for construction and demolition wastes management*, Waste Management 24 (2004) 989–997. Consultada de: www.elsevier.com/locate/resconrec Página Web con restricción

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS CONFINADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE MORELIA MICHOACÁN.

Carlos Alberto González Razo[1], Otoniel Buenrostro Delgado[2,2] y Liliana Márquez Benavides[3]

[1, 2,3]Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. San Juanito Itzicuaro S/N, Col. San Juanito Itzicuaro. C.P.58302. Tel/Fax (443) 3.34.04.75 ext 115.

Morelia, Michoacán, México.

email: razgca@yahoo.com.mx[1]

Resumen

En México, los residuos sólidos urbanos (RSU) generados, se disponen en su totalidad en el suelo, siendo alrededor del 57 % en rellenos sanitarios (RESA) y el resto en rellenos de tierra controlados y en tiraderos a cielo abierto (INEGI, 2009). Entre los principales factores de riesgo que ocasionan estos sitios está la producción de lixiviados y de biogás. En la producción de biogás, están involucrados parámetros físicos, químicos y biológicos, así como la composición de los residuos confinados. Esta investigación se realizó en el RESA de Morelia, con el objetivo de determinar la composición, los parámetros físicos temperatura, pH y humedad y químicos Sólidos Totales (ST), cenizas y Sólidos Volátiles (SV) de los residuos para relacionarlos con las condiciones prevalecientes en el sitio. Se tomaron muestras de cinco puntos a profundidades de cinco metros, registrando la temperatura. El análisis de composición se realizó con base en la Norma Oficial Mexicana (NOM-AA-22-1985), la preparación de las muestras para su análisis (NOM-AA-52-1985), el pH (NMX-AA-25-1984), humedad (NMX-AA-016-1984), cenizas (NMX-AA-018-1984), ST y SV, de acuerdo con las técnicas descritas en el Standard Methods (APHA, et al, 1998). Los datos de campo y de laboratorio se ordenaron por pozo y estrato y se efectuaron los análisis estadísticos.

Entre los principales resultados se encontraron 48 subproductos diferentes en los estratos y; excepto el parámetro de temperatura, todas las variables analizadas presentaron una diferencia estadísticamente significativa en cuanto al estrato, lo cual sugiere diferentes condiciones dentro del mismo sitio.

Palabras Clave – Caracterización, fisicoquímica, residuo, sólido, Morelia.

Abstract

All municipal solid wastes (MSW) generated in Mexico are disposed in the soil, about 57% in sanitary landfills (SL) and the rest in controlled landfills and in open dumps (INEGI, 2009). Among the main risk factors caused by landfills are the production of leachates and biogas. Production of biogas involves physical, chemical and biological parameters, as well as the composition of the confined MSW. The present study was made in the SL of Morelia, with the aims of determining the composition of MSW, their physical variables temperature, pH and humidity and their chemical parameters total solids (TS), ash content and volatile solids (VS), in order to relate these parameters with environmental conditions present in the site. Samples were taken in five 5 m deep wells and the temperatures were registered. Analyses were made according to Mexican Norms for composition (NOM-AA-22-1985), sample preparation (NOM-AA-52-1985), pH (NMX-AA-25-1984), humidity (NMX-AA-016-1984) and ash content (NMX-AA-018-1984). TS and VS were determined following the APHA, AWWA and WEF (1998) standard methods. Field and laboratory data were ordered by well and stratum and statistical analyses made.

Among other relevant results, 48 different subproducts were found and except the parameter of temperature, all analyzed variables had significant differences associated to stratum, which suggests different conditions within wells.

Keywords – Characterization, physicochemical, waste, solid, Morelia.

[2] otonielb@umich.com;

[3] lmarquez@umich.mx.

I. INTRODUCCIÓN

En México, la generación de RSU se ha incrementado ostensiblemente durante las últimas décadas,

y por consiguiente, también la producción per cápita por día. Durante la década de 1998 a 2008 se reporta un incremento del 18.73%, con respecto a la anterior; mientras que la generación per cápita aumentó de 0.852 en 1998 a 0.921 para el 2006 (representando el 7.5%) (SEDESOL, 2009). En el caso del estado de Michoacán, ha contribuido con un promedio del 2.81% del total de RSU generados en México.

En México, alrededor del 57% de los RSU producidos se disponen en los RESA y el 43% restante, en los rellenos de tierra controlados y en sitios no controlados. En los últimos 10 años, se reporta un incremento del 27.25% de los RESA (INEGI, 2009). No obstante este avance, la situación de México, con respecto al manejo de los RSU, continúa con deficiencias en cuanto a la aplicación de la normatividad, lo que se ha derivado en un fuerte impacto ambiental y riesgos en la salud pública por la disposición de los RSU.

Entre los principales factores de riesgo que ocasiona la administración deficiente de los RESA es el escape de lixiviados y de biogás. En la producción de biogás, están involucrados una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos que influyen sobre la actividad microbiana en la biodegradación anaerobia de los RSU orgánicos. Los parámetros más significativos incluyen la fracción orgánica y edad de los residuos, pH, temperatura, demanda química de oxígeno y humedad (Yilmaz et al., 2003); así como algunas propiedades químicas como es la cantidad de carbono fijo y el contenido de cenizas y sólidos volátiles (Tchobanoglous et al., 1993). También se considera la presencia de oxígeno, de inhibidores, de sulfatos, de nutrimentos, del potencial de oxido reducción (redox), acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) y la presión parcial de hidrógeno (Robles, 2008). Otro de los factores que influye en la producción de biogás y en los flujos, es el tipo de manejo de los RESA, y la tecnología utilizada, la estación del año, y clima propio de cada región, por lo que se debe tener cuidado al momento de su interpretación en términos de valores anuales (IPCC, 2006).

De tal forma, es conveniente conocer los factores que intervienen en la generación de biogás y en la actividad microbiana y de degradación de los residuos sólidos. Tchobanoglous et al (1993), mencionan que la información sobre la composición química de los RSU es importante para evaluar las opciones de procesamiento y recuperación. Es conveniente conocer la presencia y concentración de ciertos parámetros para evaluar el riesgo que ocasiona su manejo, tratamiento, reprocesado y reutilización a la salud humana y al medio ambiente. Asimismo, las propiedades físicas y químicas de los residuos sólidos deben considerarse para desarrollar y diseñar sistemas de gestión integrada y para evaluar las condiciones de producción de biogás asociadas a la degradación anaerobia de los residuos.

El estudio se llevó a cabo en el nuevo RESA de Morelia, Michoacán. El objetivo de esta investigación fue determinar la composición, los parámetros físicos temperatura, pH y humedad y químicos Sólidos Totales (ST), cenizas y Sólidos Volátiles (SV) de los residuos para relacionarlos con las condiciones prevalecientes en el sitio.

II. MATERIALES Y MÉTODO

La investigación se dividió en tres fases:

2.1. Selección de los puntos y muestreo de RSU

2.1.1. Procedimiento de campo y muestreo de RSU

El sitio de disposición final se localiza a 15 kilómetros al Oeste de la ciudad de Morelia Michoacán, en la región centro occidente de México. Se encuentra ubicado a un costado del antiguo relleno de tierra controlado (RTC) de Morelia (figura 1).



Figura 1. Localización del RESA de Morelia

Los sitios de muestreo se seleccionaron aleatoriamente, de pozos excavados para la colocación de tubos para recolección de lixiviados en donde había concluido el proceso de acomodo y compactación de los residuos así como la colocación de una capa de arcilla.

La perforación del pozo se hizo a una profundidad de cinco metros. Se tomó la muestra de RSU a cada metro de profundidad, en bolsas transparentes para cada estrato a las cuales se asignó una clave y número de identificación y se trasladaron en una hielera al laboratorio para su análisis.

2.2. Fase II. Análisis de las muestras en laboratorio

2.2.1. Caracterización y cuantificación de subproductos

Se utilizó la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-22-1985 Residuos Sólidos Municipales - Selección y cuantificación de subproductos (INE/SEMARNAP, 1985).

2.2.2. Determinación de parámetros físicos y químicos de las muestras de residuos sólidos

La preparación de las muestras en el laboratorio para su análisis se realizó de acuerdo con la norma oficial mexicana (NOM-AA-52-1985). La determinación de los parámetros físicos y químicos se realizó por triplicado para cada parámetro considerado.

Para homogeneizar la muestra, se trituraron sus componentes a una fracción de un centímetro, y así realizar los análisis por triplicado para cada parámetro. Estos análisis incluyeron:

2.2.2.1. Determinación de la fracción orgánica e inorgánica de los residuos analizados

Para la determinación de la fracción orgánica en cada muestra se procedió a cuantificar los subproductos de residuo fino, residuo de jardinería, residuos alimenticios, cartón, cuero, fibra dura vegetal, hueso, madera, papel, papel higiénico, heces fecales, trapo, vísceras, cabello así como el 20% correspondiente a los pañales; y como fracción inorgánica todos los demás subproductos encontrados en las muestras analizadas.

2.2.2.2. Determinación de la temperatura

Junto con la toma de muestras de residuos en campo se registraron lecturas de la temperatura con ayuda de un termómetro digital de bolsillo con vástago delgado (Taylor Precision Products modelo 9878), el cual fue enterrado a la matriz de RS por medio del vástago en el punto donde se tomó la muestra, durante aproximadamente 20 segundos para lograr su estabilidad.

2.2.2.3. Determinación del potencial Hidrógeno (pH)

El pH de los residuos sólidos se midió, de acuerdo con la norma oficial mexicana NMX-AA-25-1984. Se utilizó un potenciómetro modelo pc-18 marca felisa, previamente calibrado a un ph= 7.0 con una solución amortiguadora. Se pesaron 10 g de muestra en un vaso de precipitado de 250 cm^3. A la muestra se añadió 90 cm^3 de agua destilada, mezclándose con ayuda de un agitador durante 10 minutos. Se dejó reposar la solución durante 30 minutos y transcurrido el tiempo se sumergieron los electrodos en la solución para registrar la lectura de pH.

2.2.2.4. Determinación de humedad

Se utilizó la norma oficial mexicana NMX-AA-016-1984. Se utilizaron capsulas de aluminio las cuales se lavaron y enjuagaron con agua destilada y desecadas en una mufla a 550°C durante una hora, hasta obtener peso constante. Posteriormente se les colocó 15 gramos de RSU, sin compactar hasta un 50% de su volumen. De nueva cuenta las muestras fueron pesadas para después ser introducidas a la estufa a 105°C. Transcurridas 12 horas se pusieron en el desecador durante 40 minutos;

Finalmente, se dejaron enfriar y se pesaron para registrar los cálculos respectivos con la siguiente ecuación:

$$\%\ H = \frac{PH - PS}{PH} * 100$$ Ecuación 1

Donde:

% H = Porcentaje de humedad.

PH= Peso en gramos de la muestra húmeda.

PS= Peso en gramos de la muestra seca.

2.2.2.5. Determinación de Sólidos Totales (ST)

El procedimiento para la determinación de ST se basó en el método establecido en APHA, et al, (1998). Los cálculos se realizaron con la siguiente ecuación:

$$\%\ ST = \frac{(PS)}{PH} * 100$$ Ecuación 2

Donde:

%ST= Porcentaje de Sólidos Totales.

PH= Peso en gramos de la muestra húmeda.

PS= Peso en gramos de la muestra seca.

2.2.2.6. Determinación de cenizas

Con la muestra obtenida de la determinación de humedad, se utilizó la norma oficial mexicana NMX-AA-018-1984. Se llevaron las cápsulas a la mufla y se incineraron a 550 °C durante 1 hora. De manera continua se pasaron a la estufa durante media hora y posteriormente en el desecador por cuarenta minutos, para finalmente pesar el producto final de la muestra.

Para calcular el porcentaje de cenizas se utilizó la ecuación:

$$\%\ C = (Peso\ de\ cenizas * 100) / PS$$ Ecuación 3.

Donde:

% C = Porcentaje de cenizas.

PS= Peso en gramos de la muestra seca.

2.2.2.7. Determinación de Sólidos Volátiles (SV)

Para llevar a cabo la determinación de SV se trabajó con el método establecido en APHA, et al, (1998). Con las mismas muestras obtenidas de la determinación de cenizas se realizaron los cálculos que se integraron en la ecuación 4:

$$\%SV = \frac{PS - PC}{PS} * 100$$ Ecuación 4.

Donde:

% SV = Porcentaje de sólidos volátiles.

PS= Peso en gramos de la muestra seca.

PC= Peso en gramos de la muestra calcinada.

2.3. Análisis estadístico de los datos

Los datos de campo y de laboratorio se ordenaron por pozo y estrato. Estos se capturaron en el programa Excel (Microsoft Office XP, 1985-2001) para formar una base de datos. Los análisis es estadísticos se realizaron, utilizando el programa estadístico JMP (Versión: 6.0. SAS Institute Inc, 2005). Una vez obtenidos los resultados se procedió a interpretarlos y discutirlos.

2.3.1. Análisis estadístico de los resultados de los análisis fisicoquímicos.

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA). Se efectuó un análisis factorial con el propósito de conocer si existen diferencias estadísticamente significativas entre los estratos para conocer el comportamiento de las variables consideradas.

Las variables que presentaron diferencia estadística producto del ANOVA efectuado, se sometieron a una prueba de Tukey con el programa estadístico JMP, para conocer cuáles eran los estratos dentro de dichas variables que realmente presentaban una diferencia estadísticamente significativa.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados de la investigación:

3.1. Selección de los puntos de muestreo

Se tomaron muestras de cinco pozos, a cinco estratos, ubicados a cada metro de profundidad. Por cada estrato se tomó una muestra de dos kilogramos de los cuales la mitad fue utilizada para llevar a cabo la caracterización y la otra para realizar los análisis físicos y químicos correspondientes.

3.2. Análisis de las muestras en laboratorio

3.2.1. Caracterización y cuantificación de subproductos.

La caracterización de los residuos sólidos, arrojó 48 componentes diferentes. En la tabla 1 se muestran los subproductos más representativos de las muestras de RSU.

Tabla 1. Principales subproductos encontrados en los residuos sólidos del relleno sanitario de Morelia (% Peso fresco).

Principales subproductos	Estrato				
	1	2	3	4	5
Fracción orgánica	54.164	66.127	60.994	61.456	68.234
Loza y cerámica	4.499	0.363	0.263	0.9	0.101
Material de construcción	2.562	2.886	1.374	0.102	0.769
Material Ferroso	1.041	0.101	0.061	1.799	0.02
Pañal desechable (80%)	6.365	8.04	8.65	1.783	12.284
Bolsa de película	12.768	9.647	8.731	7.36	5.483
Plástico rígido	6.29	4.48	4.628	2.862	5.624
Vidrio	4.145	3.613	5.032	2.862	1.275
Piedras	4.999	1.998	4.911	11.082	2.509
Otros	3.166	2.745	5.356	9.793	3.702

Del total de subproductos encontrados en el sitio, el que se presentó en mayor proporción fue la fracción orgánica con un promedio de 62.195 %. La cantidad de materia orgánica biodegradable es uno de los factores más importantes que se deben conocer, ya que de ello dependerá la cantidad de biogás que pueda generarse de la descomposición de los residuos sólidos (Robles, 2008).

Los resultados de fracción orgánica encontrados en los residuos sólidos del sitio de estudio, son mayores a los reportados en el ámbito nacional (60.07%) (INEGI, 2009).

Es de resaltar que en la composición se encontraron materiales reciclables como el cartón, papel, aluminio, hojalata y vidrio (18.62%), lo cual indica, que no obstante la separación previa al confinamiento final de los residuos sólidos, aún continúan enterrándose materiales susceptibles de reciclar.

3.2.2. Determinación de la fracción orgánica e inorgánica de los residuos sólidos analizados

La caracterización efectuada arrojo los siguientes resultados con respecto al contenido de fracción orgánica e inorgánica (tabla 2).

Tabla 2. Fracción orgánica e inorgánica de los residuos sólidos analizados (% peso húmedo)

	FRACCIÓN ORGÁNICA					FRACCIÓN INORGÁNICA				
POZO	ESTRATO					ESTRATO				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	39.56	63.06	79.28	60.06	57.98	60.44	36.94	20.72	39.94	42.02
2	80.19	80.31	60.43	56.33	86.20	19.81	19.69	39.57	43.67	13.80
3	57.42	84.52	79.56	70.99	83.52	42.58	15.48	20.44	29.01	16.48
4	70.631	77.677	67.98	62.05	88.78	29.369	22.323	32.02	37.95	11.22
5	55.42	65.76	61.02	66.57	85.71	44.58	34.24	38.98	33.43	14.29

3.2.2.1. Determinación de la temperatura

La tabla 3 muestra las temperaturas encontradas en los diferentes estratos de los sitios de muestreo.

Tabla 3. Temperatura de los sitios de muestreo en el Relleno Sanitario de Morelia (°C).

Pozo	Estrato				
	1	2	3	4	5
1	30.56	32.22	31.11	29.4	31.67
2	40	38.33	39.44	37.2	40
3	43.89	42.22	43.33	43.6	42.78
4	46.11	43.33	44.44	44.5	43.89
5	43.89	42.78	43.33	45.2	42.78

Con respecto a la temperatura, este parámetro es importante en los procesos de formación de CH_4; cuanto más elevada hasta un cierto rango, mayor será la actividad bacteriana y consecuentemente mayor será la producción de CH_4. Diversos autores mencionan que ocurra una buena degradación de la materia orgánica en condiciones anaerobias en la metanogénesis y producción de biogás, las

temperaturas óptimas en la zona mesófila se encuentran entre los 35 y 40º C.
La temperatura promedio fluctúo entre los 30 y 45ºC, según el estrato considerado. Con estos resultados se puede decir que la temperatura tiende a aumentar con la profundidad aunque no es clara esta diferencia en los últimos tres estratos.

3.2.2.2. Determinación del potencial Hidrógeno (pH)

Los valores de pH se presentaron entre 6 y 8. La tabla 4 muestra los valores.

Tabla 4. Potencial Hidrógeno de las muestras de residuos del Relleno Sanitario de Morelia por pozo y estrato.

	Estrato				
Pozo	1	2	3	4	5
1	5.85	6.56	6.32	6.18	8.28
2	5.82	6.19	6.45	6.63	5.88
3	6.50	5.92	6.54	6.23	7.26
4	6.69	5.51	5.75	7.52	8.45
5	7.71	8.19	6.25	8.13	7.04

Estos valores experimentaron un incremento con la profundidad que se resalta para algunos de los pozos en el estrato 4 y 5. Lo anterior sugiere que la descomposición de estos residuos se encuentra en la fase de acetogénesis y metanogénesis. Indicando también que la variación del pH con la profundidad, puede deberse a diferentes estados de descomposición de los residuos sólidos.

3.2.2.3. Determinación de humedad

Los residuos analizados presentaron valores altos de humedad que oscilaron entre el 45 y 55% en promedio Los resultados permiten observar una distribución de humedad homogénea entre los pozos que al momento del análisis de la muestra no presentó un aumento con la profundidad. La tabla 5 muestra los resultados del contenido de humedad de las muestras de residuos considerados en el muestreo.

Tabla 5. Contenido de humedad en las muestras de residuos del Relleno Sanitario de Morelia por pozo y estrato (%).

	Estrato				
Pozo	1	2	3	4	5
1	46.50	45.65	51.89	47.74	50.60
2	46.67	44.05	51.12	32.62	57.00
3	47.96	53.94	59.48	56.35	57.42
4	49.25	51.82	53.73	39.06	54.50
5	34.38	45.51	50.77	53.28	51.66

3.2.2.4. Determinación de Sólidos Totales (ST)

Los resultados correspondientes a los ST permiten observar valores entre un 40 y 60%. La tabla 6 presenta los resultados obtenidos del porcentaje de Sólidos Totales por pozo y estrato.

Tabla 6. Contenido de ST en las muestras de residuos del Relleno Sanitario por pozo y estrato (%).

	Estrato				
Pozo	1	2	3	4	5
1	53.50	54.35	48.11	52.26	49.40
2	53.33	55.95	48.88	67.38	43.00
3	52.04	46.06	40.52	43.65	42.58
4	50.75	48.18	46.27	60.94	45.50
5	65.62	54.49	49.23	46.72	48.34

3.2.2.5. Determinación de cenizas

Los valores de cenizas oscilan en un rango del 42 al 78%. La tabla 7 muestra los resultados.

Tabla 7. Contenido de cenizas en las muestras de residuos del Relleno Sanitario por pozo y estrato (%).

	Estrato				
Pozo	1	2	3	4	5
1	48.08	41.66	39.47	51.12	57.30
2	57.18	65.57	54.08	78.01	27.51
3	50.93	44.13	41.28	40.43	37.45
4	42.64	35.89	21.61	74.27	64.41
5	67.62	56.03	52.63	58.26	53.03

3.2.2.6. Determinación de Sólidos Volátiles (SV).

El contenido de Sólidos Volátiles se usa para expresar el total de la materia orgánica fija presente en los residuos. La tabla 8 muestra los resultados del proceso de volatilización:

Tabla 8. Contenido de SV en las muestras de residuos del Relleno Sanitario por pozo y estrato (%).

	Estrato

Pozo	1	2	3	4	5
1	51.92	58.34	60.53	48.88	42.70
2	42.82	34.43	45.92	21.99	72.49
3	49.07	55.87	58.72	59.57	62.55
4	57.36	64.11	78.39	25.73	35.59
5	32.38	43.97	47.37	41.74	46.97

Los resultados obtenidos muestran un porcentaje promedio de SV en un rango de 45 y 55%. Aunque este parámetro indica la biodegradabilidad de los residuos sólidos. Los resultados obtenidos pueden estar influenciados también por las labores de postclausura del sitio.

3.3. Análisis estadísticos de los datos

El análisis de varianza (ANOVA) se efectuó para conocer si existe diferencia estadísticamente significativa entre los estratos con respecto a los análisis físicos y químicos de las muestras de residuos obtenidas en campo. Además, la prueba de Tukey se realizó para conocer cuáles eran los estratos con estas diferencias estadísticas.

3.3.1. Análisis estadísticos de los datos de los resultados de los análisis fisicoquímicos.

A continuación se presentan los resultados del ANOVA para todos los parámetros considerados. La tabla 9 muestra los resultados del ANOVA.

Tabla 9. Resultados del ANOVA para las variables consideradas en el muestreo.

Variables	Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Fracc. Orgánica	Estrato	4	4	3905.4281	9.3209	**< 0.001**
Fracc. Inorgánica	Estrato	4	4	3905.4281	9.3209	**< 0.001**
Temperatura	Estrato	4	4	10.70628	0.0975	**0.9829**
pH	Estrato	4	4	11.995355	4.7693	**0.0018**
Humedad	Estrato	4	4	1102.1519	5.6617	**0.0005**
ST	Estrato	4	4	2872.5211	3.5937	**0.0101**
Cenizas	Estrato	4	4	2872.5211	3.5937	**0.0101**
SV	Estrato	4	4	1102.1519	5.6617	**0.0005**

De acuerdo con los resultados obtenidos se observó que sí existe diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre los estratos para las diversas variables a excepción del parámetro de temperatura.

A continuación se presentan los resultados de la prueba de Tukey para observar la diferencia real entre estratos.

3.3.1.1. Fracción orgánica e inorgánica

En las tablas 10 y 11 y se muestran los resultados del análisis para determinar los estratos que determinaron la diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 10. Comparaciones de las medias de fracción orgánica con respecto al estrato.

Estrato	Nivel			Media (%)
5	A			80.437315
2	A	B		74.264042
3		B	C	69.652830
4			C	63.200177
1			C	60.644101

Para el caso de la fracción orgánica, se observó una diferencia estadísticamente significativa entre los estratos 2, 3 y 5 con respecto al 1 y 4 que no la presentan.

Tabla 11. Comparaciones de las medias de fracción inorgánica con respecto al estrato.

Estrato	Nivel			Media (%)
1	A			39.355899
4	A			36.799823
3	A	B		30.347170
2		B	C	25.735958
5			C	19.562685

Respecto a la fracción inorgánica, los estratos 1 y 4 no presentan una diferencia. No obstante, al agrupar los estratos 1,4; son los estratos 2, 3, 5 y (1,4) los que presentan diferencia estadísticamente significativa.

En el ANOVA realizado a los datos de la fracción orgánica e inorgánica se determinó una diferencia estadísticamente significativa entre los estratos ($P < 0.05$); aunque se esperaría que disminuyera con la profundidad por la acción de los consorcios microbianos anaerobios, no presento esta continuidad.

3.3.1.2. Temperatura

Respecto al análisis de varianza para la temperatura, la tabla 9 mostró que no hay diferencia es-

tadísticamente significativa (P > 0.05).entre los estratos.

3.3.1.3. pH

El ANOVA efectuado para el parámetro pH mostró que si hay diferencia estadísticamente significativa (P < 0.05). La tabla 12 muestra los estratos que presentaron diferencia estadísticamente significativa (P < 0.05).

Tabla 12. Comparaciones de las medias de pH con respecto al estrato.

Estrato	Nivel		Media
5	A		7.3820000
4	A		6.9386667
1		B	6.5120000
2		B	6.4746667
3		B	6.2613333

Los estratos 4 y 5, como los estratos 1,2 y 3 no presentaron diferencia estadísticamente significativa. La diferencia radica en estas dos agrupaciones por ello los resultados obtenidos. De tal forma, se observa una diferencia estadísticamente significativa entre dos grupos (1, 2, 3) con respecto al grupo (4,5).

3.3.1.4. Humedad

La tabla 13 muestra los resultados de la prueba de Tukey para las diferencias entre estratos para humedad.

Tabla 13. Comparaciones de las medias de humedad con respecto al estrato.

Estrato	Nivel		Media (%)
5	A		54.234733
3	A		53.397867
2	A	B	48.194800
4		B	45.809467
1		B	44.949267

La prueba de Tukey muestra una diferencia estadísticamente significativa entre el estrato 2 con respecto a los demás. Estos resultados coinciden con lo reportado en otros trabajos realizados para otros sitios de disposición, en los que se observa un aumento de humedad con la profundidad del estrato, haciendo mención a la saturación de los residuos con lixiviados (Robles, 2008). Por otro lado, no existe diferencia entre el estrato 3 y 5, al igual 1 y 4.

3.3.1.5. Sólidos Totales (ST)

Los resultados de la prueba de Tukey reportan que hay una diferencia estadísticamente significativa (P < 0.05) entre los estratos 3 y 4. Los demás estratos presentan un comportamiento similar con respecto a sus medias (tabla 14).

Tabla 14. Comparaciones de las medias de ST con respecto al estrato.

Estrato	Nivel		Media (%)
3	A		58.186533
5	A	B	52.058733
2	A	B	51.345000
1	A	B	46. 708933
4		B	39.583667

3.3.1.6. Cenizas

La tabla 15 muestra los resultados de las diferencias entre estratos para el factor cenizas. Al igual que los Sólidos Totales, la diferencia estadística se encuentra entre el pozo 3 y 4. Los estratos 1, 2 y 5 no la presentan.

Tabla 15. Comparaciones de las medias de cenizas con respecto al estrato.

Estrato	Nivel		Media (%)
4	A		60.416333
1	A	B	53.291067
2	A	B	48.655000
5	A	B	47.941267
3		B	41.813467

3.3.1.7. Sólidos Volátiles (SV)

La tabla 16 muestra los resultados de la prueba de Tukey para SV.

Tabla 16. Comparaciones de las medias de SV con respecto al estrato.

Estrato	Nivel		Media (%)
1	A		55.050733
4	A		54.190533
2	A	B	51.805200
3		B	46.602133
5		B	45.765267

Se observa en el cuadro que es el estrato 2 el que presenta la diferencia estadística ($P < 0.05$) con respecto a los demás estratos. Por un lado, el estrato 1 y 4 no presentan diferencia y por el otro el 3 y 5 muestran el mismo comportamiento, aunque mediante una agrupación se encontraron 3 estratos distintos (1,4), 2 y (3,5).

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos del análisis estadístico muestran un comportamiento totalmente distinto entre los estratos. El análisis estadístico de las muestras arrojó que las variables de fracción orgánica, fracción inorgánica, humedad Sólidos Totales, cenizas y Sólidos Volátiles son aquellas que presentaron diferencia estadísticamente significativa en cuanto al estrato ($P < 0.05$). La variable de temperatura fue la excepción pues no presentó una diferencia estadísticamente significativa. ($P > 0.05$). Aunque son estadísticamente diferentes, no existe un patrón de diferencia que se muestre con la profundidad del sitio. Esto puede obedecer principalmente a las labores de manejo y acomodo de los residuos.

Los resultados obtenidos sobre composición y análisis estadístico de las muestras sugieren una heterogeneidad en el comportamiento de las variables, por lo tanto, esto influye en el proceso de descomposición de los residuos sólidos dentro del mismo sitio. Los datos originados de los análisis físicos y químicos muestran las condiciones para que se pueda establecer una buena degradación de la materia orgánica y la producción de biogás al interior del relleno; sin embargo, esta situación no es homogénea en la porción del sitio de estudio, pues se esperaría que las condiciones físicas y químicas cambiarían progresivamente con la profundidad analizada (0 a 5 metros). Estas condiciones son independientes del estrato en el que se encuentren los residuos y esto obedece principalmente a la cercanía de un estrato con respecto, al recién deposito de los residuos en el lugar, a las labores de clausura como fue el acomodo los residuos y al traslado de un sitio a otro dentro del mismo relleno.

V. RECONOCIMIENTOS

Se agradece a la empresa PROACTIVA Medio Ambiente por su colaboración en la realización de este proyecto.

VI. REFERENCIAS

Barlaz, M.; Ham, R. & Schaefer; D. 1990. Methane Production From Municipal Refuse: A Review of Enhancement Techniques and Microbial Dynamics. Critical Reviews in Environmental Control. 19:557-584.

Buenrostro, O. y Bocco, G. 2003. Solid Waste Management in Municipalities in México: Goals and Perspectives. Resources, Conservation and Recycling. 39:251-263.

Gendebien, A; Constant, M; Ledrut-Damanet, E.; Nyns, H; Willumsen, J; Butson, R; Fabry, G. & Ferrero. 1992. Lanfill Gas From Environment to Energy. Commission of the European Communities, Luxembourg.

Henriques, A; A. Sopeña, L. Propiedades Físicas de los Residuos Sólidos Urbanos del Vertedero de Valdemin Goméz. XXVII. Congreso Interamericano de Engenhamia Sanitaria e Ambiental.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) 2009. Medio ambiente asentamientos humanos/residuos.http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp

IPCC, 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Intergovernmental Panel on Climate Change, Vol. 5. Waste, IGES, Japón.

JMP, 2005. Statistic Made Visual, Version 6.0. SAS Institute Inc.

LGPGIR (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos) 2003 Titulo 3°. Capitulo único. Art. 20°. Diario Oficial de la Federación.

Machado, S; Carvalho, M; Gourc, J.P, Vilar, O and Nascimento J.C.F. 2008. Methane generation in tropical landfills Simplified methods and field results. Waste Management. Doi:10.1016/j. wasman.02.017.

NMX-AA-18-1984. SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) 1984. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo. Determinación de Cenizas. México.

NMX-AA-022-1985. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1985. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección Al Ambiente. Contaminación Del Suelo. Residuos Sólidos Municipales. Selección y Cuantificación de Subproductos. México.

NMX-AA-25-1984.SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1984. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación Del Suelo. Residuos Sólidos. Determinación del pH. Método Potenciométrico. México.

NMX-AA-052-1985. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1985. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas Por El Comité de Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo. Residuos Sólidos Municipales preparación de muestras en el laboratorio para su análisis. México.

Robles, F. 2008. Generación de Biogás y lixiviados en los Rellenos Sanitarios Instituto Politécnico Nacional. México, D. F. 115 pp.

SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1985. Relación de Normas Oficiales Mexicanas aprobadas por el comité de protección al ambiente. Contaminación del suelo. México.

SEDESOL (2009). Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. Abril, 2009.

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2004. Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección de un sitio, diseño, construcción, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Diario Oficial de la Federación. México, 16 p.

Tchobanoglous, G., Theisen H. and Vigil, S. 1993. Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues. Volume II Irwin McGraw-Hill, USA.

Yilmaz A; Atalay, F. 2003. Modeling of the Anaerobic Decomposition of Solid Waste. Energy Sources 25:1063-1072.

Propuesta preliminar de manejo de residuos generados en los talleres y laboratorios de la División de Ciencias y Artes para el Diseño de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco

Lozano Landeros Monserrat, Vázquez Vázquez Carlos
Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco.
México, D.F., México
email:ambientalozano@gmail.com; carlosvv99@gmail.com

Resumen
La División de Ciencias y Artes para el Diseño (CyAD) de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco está formada por diferentes licenciaturas que requieren que sus alumnos obtengan una serie de habilidades, en talleres y laboratorios, para su buen desempeño en su futura vida laboral; sin embargo estos lugares están desprovistos de un manejo integral de sus residuos. Es por ello que se realizó un estudio con la finalidad de cuantificar y clasificar los residuos generados en estas áreas, para posteriormente proponer un plan de manejo integral para los residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos. Este estudio se llevó a cabo en tres muestreos con una duración de una semana cada uno, en las semanas 3, 6 y 9 del ciclo lectivo 09 – O, debido a que estos periodos son representativos de las actividades realizadas en los talleres y laboratorios de CyAD. La separación de los residuos se realizó, principalmente, basándose en la legislación mexicana vigente y en referencias bibliográficas, dando como resultado que la cantidad total de residuos generados es mayor al principio y al final del trimestre. Posteriormente se propuso un plan de manejo de residuos, en el cual se contempló la participación de profesores, técnicos y alumnos de la división de CyAD, dicho plan contiene una serie de estrategias técnica y económicamente viables para la minimización, reciclado y/o tratamiento de estos subproductos, así mismo se diseñó una campaña de concientización dirigida a todos los involucrados en la generación de residuos en dichos lugares.

Palabras Clave –talleres, laboratorios, residuos, estrategias, minimización.

Abstract
The division of Sciences and Arts for Design (CyAD) of the Universidad Autonoma Metropolitana Azcapotzalco consists of different careers that require that their students achieve a range of skills, in workshops and laboratories, for a good performance in their future working life; however these places are devoid of an integral waste management. That is why a study was conducted in order to quantify and classify the wastes generated in these areas, for afterward propose an integral plan for municipal solid, special handling and dangerous wastes. This study was carried out in three samplings with a duration of one week each, at weeks 3, 6 and 9 of the school quarter 09 - O, because these periods are representative of the activities in workshops and laboratories of CyAD division. The separation of wastes was made, principally, based on existing Mexican legislation and bibliographic references with the result that the total amount of generated waste is higher at the beginning and the end of the quarter. Subsequently a waste management plan was devise, which includes the participation of teachers, technicians and students from CyAD division, that plan includes a series of technically and economically feasible strategies proposed for waste minimization, recycling and/or treatment of these sub products as well an awareness campaign was designed aimed at everyone involved in the generation of waste at these locations.

Keywords – workshops, laboratories, wastes, strategies, minimization.

I. INTRODUCCIÓN

En la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco (UAM-A) existe la División de Ciencias y Artes para el Diseño (CyAD) la cual está compuesta, principalmente, por tres carreras de licenciatura, Diseño de la Comunicación Gráfica, Diseño Industrial y Arquitectura. Cada una de ellas cuenta con talleres y laboratorios, ubicados en los edificios S y P de esta casa de estudios, en los cuales los alumnos desarrollan habilidades y conocimientos específicos para su formación profesional.

En estas áreas no existe un manejo adecuado de residuos; ya sean sólidos urbanos, de manejo especial o peligrosos. En un solo bote se pueden encontrar revueltos los tres tipos de residuos antes mencionados, los cuales posteriormente son simplemente recolectados por camiones de limpia delegacionales.

Es por ello, que tomando en cuenta la legislación mexicana vigente, el programa integral de manejo de residuos sólidos de la UAM-A, *Separacción*, que en su tercera etapa de implementación busca que los residuos generados en talleres y laboratorios sean separados y atendidos adecuadamente (Espinosa y Turpin, 2008) y el documento normativo de la misma institución "Instructivo para el uso de los laboratorios, talleres y equipos de docencia y de investigación de la unidad Azcapotzalco" (UAM-A, 2010), se realizó un estudio sobre la generación y manejo de los residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos en los talleres y laboratorios de la división de CyAD; dividido en dos etapas, cada una con duración de 12 semanas.

La identificación de los talleres y laboratorios generadores de residuos de la División de CyAD, el estudio preliminar de generación de residuos, la tipificación de los residuos generados de acuerdo a la legislación mexicana vigente y análisis fisicoquímicos de las características de peligrosidad fueron acciones que se llevaron a cabo durante la primera etapa.

En la segunda etapa se propusieron estrategias de manejo, técnica y económicamente viables, para los residuos generados. Las acciones propuestas para el manejo adecuado de los residuos generados en los talleres y laboratorios de CyAD incluyen opciones de tratamiento, manejo y minimización, tales como reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, tratamiento químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición.

Así mismo las estrategias de manejo están acompañadas por la propuesta de una campaña de concientización que alcanza a todos aquellos involucrados en los talleres y laboratorios de CyAD; desde el Director de la División y Supervisores hasta alumnos, profesores, responsables técnicos administrativos y personal de intendencia.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La complejidad de este proyecto obligó a dividirlo en dos etapas para su realización.

2.1 Etapa 1

En la primera etapa, se planteó ante las autoridades de la División de CyAD los objetivos de este estudio, obteniendo así su aprobación y las facilidades necesarias para que este proyecto se llevase a cabo; tales como tener acceso a los talleres y laboratorios de la División de CyAD, los cuales se dividen en dos grandes secciones:

- Talleres de Diseño Industrial: Metales, Maderas, Cerámica, Vidrio, Plásticos y Maquetas (este último pertenece a la carrera de Arquitectura, sin embargo es supervisado por el personal de Diseño Industrial).
- Talleres de Diseño de la Comunicación Gráfica: Fotografía, Fotomecánica, Animación, Aerografía, Serigrafía, Offset, T.V. y Audiovisuales.

Además de los talleres antes mencionados existe una cabina de acabados en la cual todos los alumnos de la División de CyAD pueden dar los acabados finales a sus trabajos y proyectos.

Mediante pláticas informales con los responsables técnicos administrativos y profesores de cada uno de los talleres y laboratorios se obtuvo información acerca de los residuos producidos en estas áreas, también se averiguó sobre las acciones que en el presente se están llevando a cabo para el manejo de los mismos.

Posteriormente se identificaron las entradas de materiales, que son aquellas materias primas involucradas en las actividades (operaciones o procesos) desarrollados en los talleres y laboratorios de CyAD, los procesos realizados en dichos lugares y por último las salidas, las cuales son todos los productos y residuos generados por los procesos.

Para conocer las características y cantidades de los subproductos que componen los residuos generados en los talleres y laboratorios de CyAD se llevaron a cabo tres muestreos, cada uno de los

cuales tuvo una duración de una semana; para los residuos líquidos se midió el volumen generado y en el caso de los residuos sólidos se registró el peso de los mismos, esto último mediante la báscula marca CAMESA, modelo B-25, perteneciente al centro de acopio de residuos de la UAM –A.

Los muestreos se realizaron en las semanas 3,6 y 11 del periodo lectivo 09 – O, debido a que el análisis de los residuos generados durante estos periodos fue representativo de las actividades realizadas en dichas áreas. En la semana 3 los alumnos de CyAD empezaron a integrarse a las actividades propias de los talleres y laboratorios, aproximadamente en la semana 6 comenzaron formalmente a trabajar en los mismos, y en la semana 11 se registró una mayor actividad debido a que al final de cada trimestre, semana 12, los estudiantes de esta División exponen sus proyectos en la "Expo – CyAD". También se realizó una recolección inicial de los residuos de los talleres y laboratorios para no contabilizar residuos remanentes de trimestres anteriores. Cada uno de los muestreos que se realizaron, siguió los siguientes pasos:

1) Durante el lunes, antes del inicio de las actividades de los talleres y laboratorios, de las semanas en cuestión se recolectaron los residuos presentes en los botes y tambos ubicados en dichos espacios y fueron llevados al centro de acopio de la UAM-A. Esto con la finalidad de contabilizar únicamente los residuos generados durante la semana de estudio.

2) Del día martes al viernes se realizaron visitas a los talleres y laboratorios de CyAD y en caso de que la capacidad de los contenedores de residuos fuera superada se procedía a llevarlos al centro de acopio de la UAM-A donde su contenido era clasificado y pesado.

3) En el siguiente día hábil, después de concluida la semana de estudio, se recolectaron los tambos y botes con residuos y fueron llevados al centro de acopio de la UAM-A, donde eran clasificados y pesados.

En los muestreos se identificaron los tres tipos de residuos que reconoce la Ley General Prevención y Gestión Integral de Residuos (D.O.F., 2003): residuos sólidos municipales, residuos de manejo especial y residuos peligrosos.

Los residuos peligrosos se identificaron acorde a la legislación mexicana vigente, apoyándose en la NOM-052-SEMARNAT-2005 "Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos" (D.O.F. 2006). La identificación se llevó a cabo sin realizar análisis químicos de los residuos, salvo en el caso de los residuos líquidos generados en los talleres de Fotografía y Fotomecánica, a los cuales se les realizó una determinación de pH y contenido de plata, esto ultima acorde a la NOM-053-SEMARNAT-1993 "Procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente" (D.O.F., 2003), esto con la finalidad de determinar si estos residuos poseían características que les pudieran conferir la clasificación de peligrosos.

2.2 Etapa 2

Durante la segunda etapa del proyecto se identificó la existencia de acciones de manejo de residuos que se llevan a cabo actualmente en los talleres y laboratorios de la División de CyAD.

Por último, tomando en cuenta la cantidad y peligrosidad de los residuos generados se procedió a proponer nuevas estrategias de manejo, las cuales tienen como objetivo lograr la minimización de los mismos y se encuentran contenidas en un documento preliminar que lleva por nombre "Plan Maestro de Manejo de Residuos de talleres y laboratorios de la División de CyAD".

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del estudio de generación señalaron que todos los talleres y laboratorios de la División de CyAD, generaron residuos sólidos urbanos y la gran mayoría también generaron residuos de manejo especial, por otro lado sólo tres áreas, taller de Serigrafía, de Offset y la cabina de acabados, generaron residuos peligrosos.

Los resultados de los análisis practicados a los residuos de revelador fijador se muestran en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Resultados de análisis de pH de los residuos de fijador-revelador

Muestra	pH (unidades)	Límite máximo permisible. NOM-052-SEMARNAT-2005 (unidades)
Taller Fotomecánica	9.92	pH menor o igual a 2.0 o mayor o igual a 12.5
Taller Fotografía	8.84	

Tabla 2. Resultados de análisis de concentración de plata de los residuos de fijador- revelador

Muestra	Concentración de plata (mg/L)	Límite máximo permisible.NOM-052-SEMARNAT-2005 (mg/L)
Taller Fotomecánica	0.653	5
Taller Fotografía	0.814	

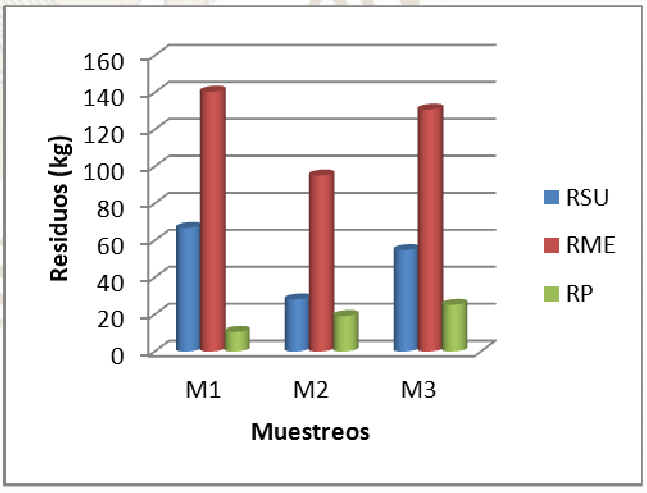
A partir de los resultados anteriores se puede aseverar que los residuos líquidos de fijador-revelador de los talleres de Fotomecánica y Fotografía no son peligrosos. Por sus características son considerados residuos de manejo especial, debido a que en algunos periodos de funcionamiento de estos talleres se han llegado a producir 40 litros de residuos líquidos de fijador-revelador por taller; esto acorde a la experiencia de los responsables técnicos administrativos de estas áreas.

Una vez que los residuos líquidos de fijador-revelador fueron catalogados como de manejo especial fue posible elaborar la clasificación de residuos generados en los talleres y laboratorios de CyAD (Tabla 3).

Tabla 3. Residuos encontrados durante los muestreos de los talleres y laboratorios de la división de CyAD

Residuos sólidos urbanos	Residuos de manejo especial	Residuos peligrosos
Cartón, papel blanco, papel periódico, residuos de comida (tortillas, hojas de tamal…), plásticos (bolsas y envolturas), latas de aluminio, PET, unicel, vidrio, cartón laminado, textiles.	Pedazos grandes de aluminio y viruta del mismo material, madera, aserrín y viruta, yeso, barro, cerámica, residuos líquidos de revelador-fijador.	Envases de pintura, de solventes (thinner, aguarrás), de tintas y todo material que este impregnado con dichas sustancias como estopa.

En las siguientes gráficas se muestran los resultados de los tres muestreos realizados en los talleres y laboratorios de CyAD. Primero, para tener un panorama general de los residuos generados en dichas áreas, se encuentra una gráfica con el total de los residuos generados en los tres muestreos en todos los talleres y laboratorios (Gráfica 1), donde se observa que el principal tipo de residuos generados son los residuos de manejo especial.

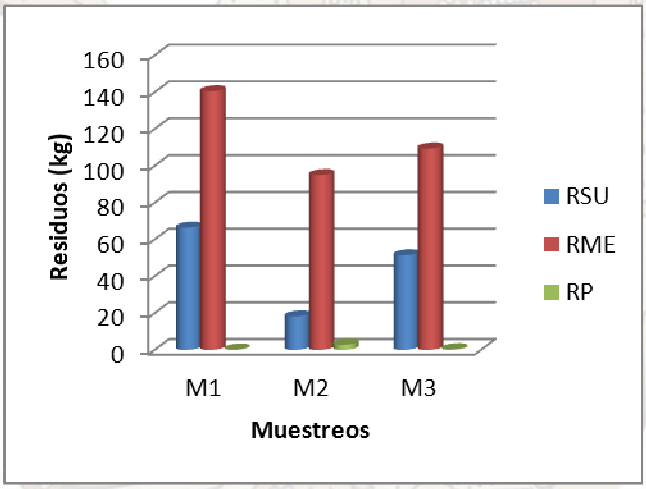


Gráfica 1. Residuos totales de CyAD (incluyendo cabina de acabados). Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP) en el primer (M1), segundo (M2) y tercer muestreo (M3).

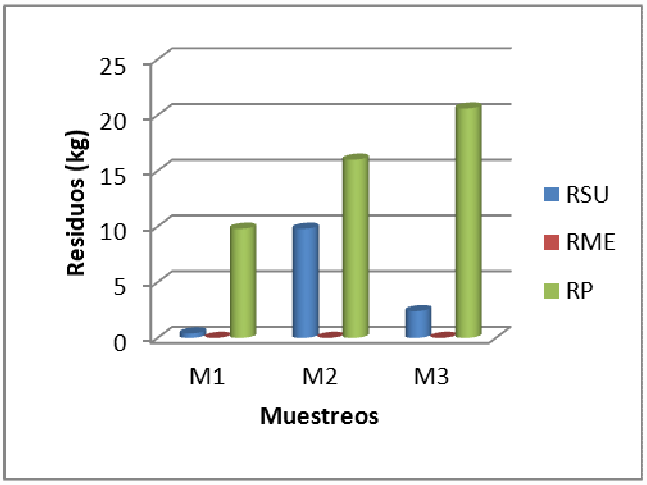
También cabe notar que la cantidad de residuos peligrosos aumenta conforme el transcurso de los muestreos. Mas no es así con los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, ya que en los muestreos 1 y 3 se presentó una mayor generación con respecto al segundo muestreo.

Posteriormente se presenta una gráfica que muestra los residuos totales de los talleres de Diseño Industrial (Gráfica 2). Dichos talleres se caracterizaron por tener una mayor generación de residuos, con respecto al peso, en comparación con los residuos generados dentro de los talleres de la Licenciatura de Diseño de la Comunicación Gráfica. Así mismo la generación de residuos peligrosos fue intermitente y con tendencia a cero por lo que no se puede considerar a estos lugares como generadores de dichos residuos.

La tercer gráfica muestra los residuos generados en los talleres y laboratorios pertenecientes a la Licenciatura en Diseño de la Comunicación Gráfica (Gráfica 3), en la cual se observa que los residuos generados fueron, en su mayoría, peligrosos con una generación de hasta 20 Kg en el tercer muestreo.

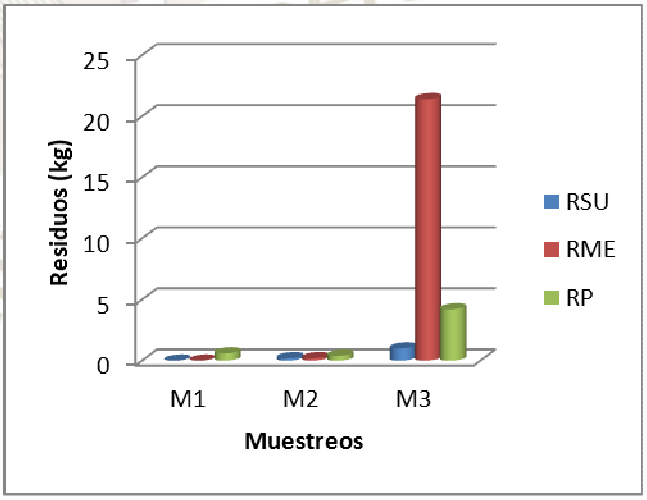


Gráfica 2.Residuos Diseño Industrial. Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP) en el primer (M1), segundo (M2) y tercer muestreo (M3).



Gráfica 3. Residuos de Diseño de la Comunicación Gráfica. Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP) en el primer (M1), segundo (M2) y tercer muestreo (M3).

La Gráfica 4, muestra los residuos generados en la cabina de acabados, los cuales son muy variados debido a que alumnos de las tres licenciaturas de CyAD, pueden hacer uso de éste lugar. Dicho lo anterior, los residuos que se encontraron en su mayoría, durante el tercer muestreo, fueron residuos de manejo especial y cantidades mucho menores o nulas de estos mismos en los muestreos previos. En segundo lugar se generaron residuos peligrosos dentro de los que se encuentran latas de solventes y pinturas y por último se generaron residuos sólidos urbanos.



Gráfica 4. Residuos de la cabina de acabados. Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP) en el primer (M1), segundo (M2) y tercer muestreo (M3).

3.1 Plan Maestro de Manejo de Residuos de talleres y laboratorios de la División de CyAD

Una vez obtenidos los resultados de los muestreos se diseñó la propuesta preliminar del "Plan Maestro de Manejo de Residuos de Talleres y Laboratorios de la División de CyAD", el cual consta de cuatro partes:

- Minimización de residuos
- Separación de los residuos en el origen
- Manejo y disposición de los residuos
- Campaña de concientización

3.1.1 Minimización de residuos en el origen

Los responsables técnicos administrativos, profesores y alumnos deberán procurar que las actividades dentro de los talleres y laboratorios generen la menor cantidad de residuos posibles; aprovechando al máximo los materiales existentes. También deberán de compartir experiencias y estrategias de minimización de residuos.

3.1.2 Separación de los residuos en el origen

Para llevar a cabo un adecuado manejo de los residuos generados, se propone implementar 4 botes de diferentes colores en los talleres y laboratorios de la división de CyAD.

- Bote azul: en él se depositaran los residuos que se puedan volver a utilizar dentro de las actividades que desempeñan los alumnos de CyAD. La capacidad de este bote deberá de ser aproximadamente de 100 litros y ser de polietileno de alta resistencia. Solo se tendrá un bote de estos por taller.
- Bote gris: en él se depositaran los residuos de manejo especial específicos de cada taller. En el caso de estos botes se propone adecuar los tambos de metal ya existentes en los talleres y laboratorios de CyAD, pintándolos de color gris para su identificación. En el caso de los residuos líquidos se contará con tambos de plástico con rosca de una capacidad de 20 litros.
- Bote naranja: servirá para contener los residuos peligrosos generados en los talleres y laboratorios de CyAD. Estos botes serán de polietileno de alta resistencia y siempre deberán de contar con bolsas en su interior, del mismo color, para evitar que los residuos se adhieran a las paredes del bote.
- Bote para oficinas: contendrán únicamente los residuos sólidos urbanos generados por los profesores y los responsables técnicos administrativos de los talleres y laboratorios de CyAD; por lo que habrá contenedores de este tipo en cada una de las oficinas de dichas áreas y deberán contar con una capacidad de entre 30 y 50 litros.

A continuación en la Tabla 4 se muestra la propuesta de distribución de botes en los talleres y laboratorios de CyAD.

Tabla 4. Distribución de botes / tambos dentro de los talleres y laboratorios de la División de CyAD

Taller / Laboratorio	Bote azul (Material reutilizable)	Bote / Tambo gris (Residuos de manejo especial)	Bote naranja (Residuos peligrosos)
Metales	1	2	
Maderas	1	3	
Cerámica		1	
Vidrio	1	1	
Plástico		1	
Maquetas	1	1	
Fotografía		2*	
Fotomecánica		2*	
Animación			
Aerografía			
Serigrafía		2	
Offset	1	1	1
T.V.			
Audiovisuales			
Cabina de acabados		1**	1

*Tambos de 20 litros de capacidad.
** Este bote gris contendrá dos divisiones; en una de ellas se depositaran los residuos de meta y en otra los de madera.

3.1.3 Manejo y disposición de los residuos

Primeramente, se propone implementar una ampliación del programa *Separacción* para ubicar un mayor número de botes blancos (residuos recupe-

rables como envases de PET, aluminio, vidrio y cartón laminado) y rojos (residuos no recuperables, es decir todo lo que no vaya en el bote blanco) en los pasillos de los edificios S y P, planta baja y primer piso; correspondientes a la primera etapa de dicho programa. Lo anterior se encuentra justificado en los resultados obtenidos del estudio de generación, el cual señala que se genera una gran cantidad de residuos sólidos urbanos, principalmente residuos de comida.

Para el manejo adecuado de los residuos es importante señalar que la UAM-A cuenta con un centro de acopio, en donde son recibidos todos los residuos generados en la unidad. El centro de acopio se encuentra dividido en diez áreas, en las cuales se podrá almacenar temporalmente cualquier residuo sólido urbano o de manejo especial proveniente de los talleres y laboratorios de CyAD; dichas áreas se describen a continuación:

- Área 1. Área destinada para el almacenamiento temporal de residuos recuperables tales como cartón, papel, tóner y cartuchos.
- Área 2. Área destinada al pesado de residuos.
- Área 3. Área destinada para el almacenamiento de residuos recuperables como aluminio, cartón laminado y PET.
- Área 4. Área destinada para el almacenamiento temporal de residuos pertenecientes a los botes blancos, dentro de los cuales se encuentran residuos generados en los pasillos y áreas comunes de la UAM-A, a ésta selección le corresponden residuos de servilletas, papel sucio, envolturas, vasos, platos, cubiertos desechables, residuos de comida, artículos escolares, bolsas de plástico y papel, colillas, residuos sanitarios y todos aquellos que no sean considerados como recuperables.
- Área 5. Área destinada para el almacenamiento temporal de los residuos de vidrio.
- Área 6. Área de separación de subproductos recuperables.
- Área 7. Área que almacena de manera temporal los residuos de poda provenientes de las áreas verdes.
- Área 8. Almacén de residuos orgánicos.
- Área 9. Área designada para la realización de cuarteos.
- Área 10. Área de almacenamiento temporal de tóner y cartuchos.

Dada la separación previa en la fuente, los residuos sólidos urbanos y de manejo especial serán recibidos en el centro de acopio para un posterior tratamiento y/o destino final para cada uno, como se especifica a continuación.

3.1.3.1 Residuos de papel y cartón

Los residuos colectados en el bote gris provenientes del taller de Offset y de Maquetas, serán recolectados por una empresa privada la cual se dedique al reciclaje de papel, cartón, cartoncillo, para la elaboración de éstos productos como papel blanco reciclado, papel para impresión, papel higiénico, cartón reciclado, etc.

3.1.3.2 Residuos de vidrio

El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable, el envase de vidrio es cien por ciento reciclable. Dado que todas las botellas y tarros de vidrio son reciclables, es necesario tener una separación adecuada de los demás tipos de vidrio como el plano (ventanas), el de los focos, etcétera; debido a que los procesos de elaboración son diferentes. Los residuos contenidos en los botes azules provenientes del taller de vidrio, serán almacenados temporalmente en el área 5 del centro de acopio. Dichos residuos serán dispuestos de la misma manera en que en la actualidad se hace. Una empresa se lleva los residuos ya que les sirve el proceso de elaboración de nuevos productos cuya materia prima es el vidrio. El vidrio laminado que la empresa no tenga la capacidad de reciclar, se ofrecerá a artesanos que elaboren su arte con vidrio.

3.1.3.3 Residuos cerámicos

Para los residuos cerámicos se propone que una vez almacenados temporalmente en el área 4 del centro de acopio, se disponga de ellos como residuos provenientes de la industria de la construcción y demolición como tabiques, ladrillos, concretos, arcillas, blocks, adocetos, etcétera. Debido a que a partir de ellos se puede obtener una variedad de productos como material de soporte y para estabilización se suelos, rellenos, filtros, etcétera.

3.1.3.4 Residuos de metal

Los residuos que hayan sido colectados en los botes color gris provenientes del taller de metales, serán almacenados de manera temporal en el área 3 del centro de acopio de la UAM-A, en donde posteriormente serán enviados a una empresa dedicada el reciclado de materiales metálicos.

3.1.3.5 Residuos plásticos

El impacto que producen los plásticos en el ambiente es menor que el ocasionado por otros materiales tradicionales, su fabricación requiere menos recursos, su ligereza y resistencia aportan ventajas a su eficiencia y además los plásticos se pueden reciclar. Existen dos soluciones generales cuando los plásticos se convierten en residuos: tirarlos en un relleno sanitario o recuperarlos. El estudio de generación demostró que se generan residuos de resinas plásticas variables, por lo tanto se recomienda contactar con una empresa dedicada al reciclaje de plásticos que tenga por objeto la recuperación de éstos para la elaboración de nuevos productos.

3.1.3.6 Residuos de madera

Dentro de las instalaciones del centro de acopio de la UAM-A, se cuenta con un área destinada al almacenamiento temporal de los residuos de poda (Área 7), en donde se almacenan los residuos provenientes de las áreas verdes de la universidad, ramas, troncos y hojas. Debido a su similitud se propone transportar a esta área los residuos de madera generados en los talleres y laboratorios de CyAD; principalmente, los provenientes de los botes grises del taller de maderas.

En la actualidad, los residuos almacenados en ésta área, son recogidos por una empresa particular o por el servicio de recolección pública para su disposición final. Como parte del programa *Separacción,* se planea la construcción de una planta de compostaje en las instalaciones de la UAM-A; por lo tanto los residuos que hayan sido generados y almacenados en el área 7, serán utilizados como material para composteo y en el caso de que dicha planta no cuente con la capacidad suficiente para el manejo de todos los residuos se dispondrá de ellos como se realiza actualmente.

3.1.3.7 Residuos de oficinas

Los residuos provenientes de las oficinas de los talleres y laboratorios, serán almacenados de manera temporal en el área 4 del centro de acopio, recolectados por un servicio público, cuyo destino final es un relleno sanitario.

3.1.3.8 Residuos líquidos (fijador y revelador)

Los residuos líquidos generados en los laboratorios de Fotografía y Fotomecánica, serán almacenados trimestralmente dentro de sus instalaciones; cuando podrán ser recolectados por una empresa especializada en el tratamiento de estos residuos o darles el manejo adecuado en el mismo taller, por medio de un equipo de filtración para remover la plata de ellos, el cual estaría a cargo de los responsables técnicos administrativos del área en cuestión.

Si bien se sabe que esto último no es del todo necesario, esta acción atiende a recuperar el valor remanente de los residuos.

3.1.3.9 Residuos peligrosos

Para el manejo adecuado de los residuos peligrosos generados en toda la UAM-A, se prevé la construcción de un almacén temporal para este tipo de sub productos.

Todos aquellos residuos peligrosos, generados en los talleres y laboratorios de la División de CyAD, tales como envases de solventes, pinturas, tintas, aceites y materiales impregnados con estas sustancias, serán depositados en los contenedores de color naranja. Posteriormente serán trasladados por el personal de intendencia al almacén temporal; para después ser recolectados por una empresa privada que tenga las autorizaciones pertinentes y cuyo destino final sea la incineración.

3.1.4 Campaña de concientización

Cualquier plan de manejo de residuos que pretenda tener éxito debe estar acompañado de una serie de acciones que muestren los beneficios de seguirlo. Es por ello que se diseñó una campaña de concientización que comprende los siguientes pasos.

1) Presentación a las autoridades del "Plan Maestro de Manejo de Residuos de Talleres y Laboratorios de CyAD"

Primeramente la propuesta preliminar del "Plan Maestro de Manejo de Residuos de Talleres y Laboratorios de CyAD" será presentado ante las autoridades correspondientes, Director de CyAD y a los supervisores de los talleres y laboratorios. Tomando en cuenta sus opiniones y comentarios, enriqueciendo así el Plan Maestro.

2) Platicas con personal de intendencia, responsables técnicos administrativos y profesores de los talleres y laboratorios de CyAD.

Durante el inicio del trimestre deberán llevarse a cabo pláticas con el personal de intendencia, responsables técnicos administrativos y profesores de los talleres y laboratorios de CyAD, para informarles acerca de las nuevas acciones en el manejo de residuos. Al igual que con los supervisores, se tomará en cuenta las opiniones y comentarios provenientes de personal de intendencia, responsables técnicos administrativos y profesores de los talleres y laboratorios de CyAD.

3) Concurso de elaboración de carteles y folletos informativos por parte de los alumnos de CyAD

Para integrar y alentar a los alumnos a que sigan y promuevan las nuevas acciones para el manejo de residuos en los talleres y laboratorios de la división de CyAD se propone un concurso de elaboración de dos tipos de carteles y folletos informativos. Uno de ellos será para los residuos sólidos urbanos y de manejo especial y otro para los residuos peligrosos; también se incluirá ayudas visuales (infografía), indicando los residuos pertenecientes a cada contenedor.

Este concurso se llevará a cabo en colaboración con los jefes de la división de CyAD y los integrantes del programa *Separacción*. En dicho evento solo se admitirán propuestas de los alumnos de la división de CyAD. El contenido de información mínima que deberán de contener los carteles y folletos deberá incluir:

a) Residuos sólidos urbanos y de manejo especial

- En los talleres y laboratorios de la División de CyAD se producen residuos que pueden ser reutilizados y reciclados.
- Utiliza el bote azul para aquellos materiales que puedan ser usados nuevamente por ti y tus compañeros.
- Utiliza el bote gris para aquellos residuos que ya no puedan ser utilizados nuevamente.
- Si tienes alguna duda acerca de que residuo debe ir en cada bote consulta con el personal del taller en el que te encuentres.

b) Residuos peligrosos

- En los talleres de Serigrafía, OFFSET y cabina de acabados de la división de CyAD se producen residuos peligrosos. Tales como solventes, pinturas, barniz, pegamento y materiales impregnados con estas sustancias.
- Los residuos peligrosos presentan un riesgo a la salud, si no son manejados adecuadamente.
- Depositar los residuos peligrosos en los botes naranja, colabora con la protección al ambiente.

c) La ingesta de alimentos y bebidas dentro de los talleres y laboratorios de la división de CyAD queda estrictamente prohibida.

El cartel ganador será exhibido dentro de cada uno de los talleres y laboratorios de la división de CyAD, así como en aéreas públicas de los edificios L y K de la UAM-A, que son las áreas donde los alumnos de CyAD toman clases teóricas.

4) Pláticas con alumnos

Aquel alumno o alumnos que ganen el concurso de folletos, carteles y estampas podrán participar, junto con otros voluntarios, en la difusión de los mismos compartiendo con sus homólogos la información de las nuevas acciones de manejo de residuos.

Las pláticas se darán en los salones asignados a la división de CyAD, con una duración máxima de 10 minutos, en donde se les entregaran a los alumnos presentes los folletos informativos.

Por otra parte también se sugiere que a cada alumno de nuevo ingreso a las licenciaturas de la

División de CyAD se le entregue un folleto informativo de las acciones de manejo de residuos llevadas a cabo en los talleres y laboratorios de esta división.

5) Recordatorio continúo de las prácticas de manejo de residuos

La puesta en marcha de un plan de manejo integral de residuos es solo la primera parte de todo del camino que hay que recorrer para que este se cumpla al cien por ciento.

Es tarea de los responsables técnicos administrativos y de los profesores recordarles regularmente a los alumnos que deben acatar las normas dentro de los talleres, ya que de esta forma contribuyen al cuidado del ambiente y de su propia salud.

IV. CONCLUSIONES

En los talleres y laboratorios de la División de CyAD de la UAM-A se generan residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos. Todos los talleres, incluyendo la cabina de acabados, generan residuos sólidos urbanos; por otra parte, salvo los talleres de Animación, Aerografía, T.V. y Audiovisuales, todos las demás áreas estudiadas generan residuos de manejo especial, así mismo los talleres de Offset, Serigrafía y la cabina de acabados son generadores de residuos peligrosos.

Entre los residuos de manejo especial se pueden mencionar los residuos líquidos de fijador-revelador, padecería de metal, madera, cerámica, yeso, cartón, barro y papel; que se encuentren sucios o que sus características no permitan su reutilización. En cuanto a los residuos peligrosos encontrados, los principales fueron envases de solventes, tintas, pinturas y aceites, así como todos aquellos materiales (madera, cartón, papel, plásticos, textiles…) impregnados con estas sustancias.

El hecho de que en el primer muestreo la generación de residuos sólidos urbanos y de manejo especial fuera mayor que en los dos posteriores, se debe a que en muchos talleres los responsables técnicos administrativos se deshicieron de residuos de trimestres anteriores que no fueron retirados durante recolección inicial.

Para que en los talleres y laboratorios de la División de CyAD se logre un manejo adecuado de sus residuos se propusieron una serie de acciones técnica y económicamente viables que conforman la propuesta preliminar de "Plan maestro de manejo de residuos de talleres y laboratorios de la División de CyAD".

Este plan incluye la implementación de botes especiales para la correcta separación de residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos, así como para materiales que se puedan utilizar nuevamente por los alumnos en las actividades de los talleres. Igualmente se buscaron opciones para el tratamiento y/o disposición final de cada uno de los residuos. Haciendo énfasis en los residuos peligrosos, para los cuales se prevé la construcción de un almacén temporal, en el cual se almacenaran residuos peligrosos provenientes de toda la universidad, el transporte por parte de una empresa autorizada e incineración como tratamiento final, buscando así la valorización energética de este tipo de residuos que no pueden ser sometidos a reciclaje o tratamiento químico, físico o biológico.

También se propone que en conjunto con la implementación de los nuevos botes se realice una campaña de concientización dirigida a los usuarios y al personal docente y de limpieza que labora en las áreas investigadas.

La UAM-A como institución de educación pública, tiene la responsabilidad ante las autoridades mexicanas de cumplir con cualquier normatividad que estas marquen. Sin embargo, existe un compromiso mayor ante sus integrantes, profesores, trabajadores, alumnos y la sociedad en general, de cuidar el ambiente y de buscar la sustentabilidad. Este proyecto forma parte de una serie de acciones que encaminan a esta universidad a cumplir con tal reto y posicionarla como una casa de estudios propositiva y líder en materia de manejo integral de residuos.

V. RECONOCIMIENTOS

A nuestras familias y amigos que siempre nos apoyaron.

A nuestras asesoras: Dr. Alethia Vázquez Morillas y M en C. Rosa María Espinosa Valdemar.

Al equipo de "*Separacción*" y al personal del centro de acopio de la UAM-A.

VI. REFERENCIAS

Espinosa R.M., Turpin S., Polanco G., De la Torre A., Delfín I., Raygoza I. Integral urban solid waste management program in a Mexican university. International Journal of Integrated Waste Management, Science & Technology. 2008. No. 28. pp: 27-32.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Diario Oficial de la Federación (DOF): 19 de julio de 2006. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/. Consultada: 1 de abril de 2010.

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 (DOF): 22 de octubre de 2006. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/. Consultada: 1 de abril de 2010.

NOM-053-SEMARNAT-2003; Procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Diario Oficial de la Federación (DOF): 22 de octubre de 1993. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/. Consultada: 1 de abril de 2010.

UAM-A, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco. 2010. Instructivo para el uso de los laboratorios, talleres y equipos de docencia y de investigación de la Unidad Azcapotzalco. Disponible en: http://www.azc.uam.mx/ Consultado el: 10 de abril de 2010

Prácticas de consumo presentes en los residuos de origen domiciliario

[1] Sara Ojeda Benítez, [2]Carolina Armijo de Vega, [1] Néstor Santillán Soto, [1] O. Rafael García Cueto y [1] Elizabeth Ramírez Barreto
[1]Instituto de Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California.
Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal S/N Insurgentes Este 21280 Mexicali, B.C. México
[2]Facultad de Ingeniería-Ensenada Universidad Autónoma de Baja California
Email: sara.ojeda.benitez@uabc.edu.mx

Resumen

El consumismo es un comportamiento social consistente en adquirir y desechar bienes en plazos muy breves, por razones de moda, prestigio o imitación, dejando de lado el consumo por necesidades reales, por ello el objetivo de este trabajo es identificar las prácticas de consumo a través de los residuos generados en la familia como unidad de análisis. Para realizar la investigación se trabajó con 316 muestras recolectadas de tres estratos socioeconómicos, cada muestra contenía los residuos que genera una familia con diversos perfiles socio demográfico. El objetivo del análisis es analizar los perfiles de la composición material de los residuos. Los resultados de esta investigación son un instrumento que provee conocimiento a los tomadores de decisiones de las necesidades de equipo para realizar una recolección de los residuos, así como el espacio que será necesario para su disposición final. Además contiene información que permite identificar los patrones de consumo y desecho por zonas y por fuente generadora. Asimismo, se puede identificar la generación de residuos contaminantes y desechos susceptibles de ser reciclados.

Palabras clave: Estratificación, prácticas de consumo, generación de residuos

Abstract

Consumerism is a social behavior consistent on acquiring and discarding goods in very short time lapses, for reasons of fashion, prestige or imitation, leaving aside the consumption by actual needs. The goal of this work is to identify the practices of consumption through the study of the solid waste generated in the family as a unit of analysis. To achieve these goal 316 samples were collected from three socioeconomic strata. Each sample comprised the waste generated by a family with a particular sociodemographic profile. The analysis searched for correlations between family profiles and waste composition. The result of this research is a tool that provides knowledge to decision makers of the equipment requirements for waste collection and the space that will be needed for its disposal. It also contains information that identifies the patterns of consumption and waste by area and by generating source. The tool also allows to identify the generation of pollutants and wastes that can be recycled.

Keywords: Stratification, consumption practices, waste generation.

I. INTRODUCCIÓN

El avance de la sociedad y la implementación de tecnologías cada vez más sofisticadas, ha provocado más contaminación en lugar de reducirse y mucho más en los países en vías de desarrollo, en los que predomina una sociedad de consumo impulsada por los medios de comunicación masiva que transmiten propaganda de los grandes fabricantes y comerciantes.

La sociedad urbana sustentada en la industrialización y un consumo generalizado ha llevado a la producción masiva de residuos sólidos. Desde esta perspectiva, la basura urbana es el universo de los residuos de mercancías y artefactos producidos en un contexto social y un residuo sólido es un desecho, un sobrante, un producto derivado de una actividad social, productiva, comercial, de servicios, pública o familiar. (Bernache, et al., 1998).

El consumo de productos por parte de la población está muy relacionado a la generación de residuos, tanto en volumen como en composición. El tipo de consumo ha cambiado con el tiempo, esto debido a los nuevos productos que aparecen en el mercado, así como el propio efecto de la publicidad sobre los hábitos de consumo, aunado

a esto las propias condiciones económicas y tecnológicas del país.

La mayoría de las actividades que realiza el hombre generan residuos, pero ante todo las prácticas de consumo, que es un factor característico sobre todo en los países desarrollados. En los últimos años se ha observado un cambio en la forma de consumo de los productos, ya que son más elaborados, y para ello intervienen más etapas en el proceso de producción, y su presentación es diferente, pues se utilizan más plásticos, cartón, aluminio, etc., por tanto, la mayoría de los productos se usan una sola vez y se desechan generando entonces un aumento en la cantidad de residuos; otro aspecto importante es la moda, que juega un papel elemental en el consumo masivo, ya que crea la necesidad de desarrollar, producir y consumir más y nuevos productos y que es imprescindible obtenerlos de la naturaleza para satisfacer las necesidades de la población.

En el contexto de la cultura del consumo, como analiza Castillo (1997), la basura se convierte en un eslabón más que permite hacer circular el ciclo de distribución de las mercancías, en el que aparecen los residuos.

Ojeda (2006) señala que la generación de desechos, inicia desde el momento en el que aparece una necesidad en el consumidor, porque la satisfacción de las necesidades lo lleva a eliminar o desechar aquello que ya no necesita, ni le dará otro uso; por lo que los residuos desechados se convierten en basura, basura que varía en su composición y volumen; estas variaciones se deben principalmente a las diferencias en los patrones de consumo, composición de la población, estatus social, económico y cultural, así como la composición de la familia.

Lo anterior nos muestra que, en este contexto, es importante analizar el estilo de vida, al respecto Hawkins, Best y Coney (1997), indican que el estilo de vida condiciona el comportamiento de consumo influyendo en nuestras necesidades y actitudes; es decir, el estilo de vida tiene una influencia indirecta en la conducta de consumo. Orizo (1992 citado en de Pablos y Sánchez, 2003) señala que el estilo de vida se forma con la combinación de bienes que el consumidor elige y las actividades que realiza; así como por los valores que el consumidor posee y la ubicación sociocultural que lo distingue; por lo tanto, se puede definir el estilo de vida como un conjunto de prácticas más o menos integradas que un individuo adopta no sólo porque satisfacen sus necesidades utilitarias, sino también porque dan forma material a su identidad. Entonces las prácticas de consumo, no son sólo un efecto de las necesidades; sino que son comportamientos estructurados en el hábito de clase que están construidos en la expresión dinámica de una posición social (Alonso, 2003)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la ciudad de Tijuana, para ello se seleccionaron tres colonias que fueran representativas de tres estratos socioeconómicos: Alto medio y bajo. En la figura 1 se presenta la ubicación de las colonias.

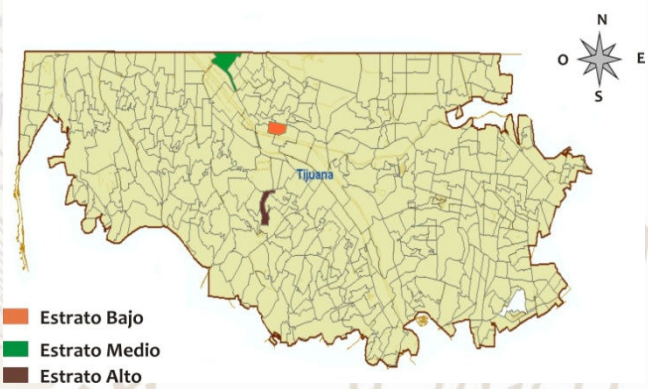


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Para determinar la colonias con las que se trabajó en este estudio, se realizó un análisis clúster del índice de marginación, realizado a partir de variables socioeconómicas tales como: servicios públicos de los que dispone la vivienda, grado de educación, grado de hacinamiento y población económicamente activa de las 568 colonias; se agrupó así en tres clúster, a partir de diferentes estratos socioeconómicos, quedando seleccionada una colonia de cada grupo.

La colonia del estrato alto tiene una población de 3,241 habitantes y 716 viviendas, en la colonia

del estrato medio son 3,858 viviendas y 17, 322 habitantes y en la colonia del estrato bajo el número de habitantes es de 1,562 y 348 viviendas. (Dirección de Administración Urbana, 2009).

Para el muestreo se entregaron un total de 450 bolsas, recogiéndose 316 bolsas, por lo que se obtuvo un 70.2% de participación de la población, tal como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Muestras recogidas para cuantificar residuos por estrato

Estrato	Bolsas entregadas	Bolsas recogidas	% de Participación
Alto	150	112	74.6%
Medio	150	103	68.6%
Bajo	150	101	67.3%
Total	450	316	70.2%

Para realizar la caracterización se tomaron como referencia normas como la NOM 22 que establece especificaciones para el estudio de los RSD, tales como el uso de aparatos y equipos, procedimiento, cuantificación, entre otros.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El muestreo de los residuos sólidos abarcó un período de cinco días durante un periodo de verano. Los resultados del muestreo corresponden a 86 casas habitación.

Se encontró que el 68.16% son residuos orgánicos y el 31.84% son inorgánicos. Algunos residuos encontrados en la categoría de otros inorgánicos fueron: restos de aparatos electrodomésticos, juguetes, algunos objetos que son clasificados peligrosos como son pilas, jeringas, pinturas.

La clasificación se realizó aplicando una técnica de registro de datos por cada muestra (bolsa de basura) recogida.

El volumen de RSD generados por las viviendas se muestra en tabla 2. Los resultados muestran que en la basura cuantificada destacan seis categorías (de un total de 32 categorías), que son desechos de comida con 36.63%, residuos de jardín con el 18.05%, desechos sanitarios el 8.59%, pañales el 5.12%, telas 3.79%, contenedores de plástico 3.50% y el 24.32% estuvo compuesto por otros elementos.

Tabla 2.Composición de los residuos

ORGÁNICO	Peso en kg	% Relativo a orgánicos	% Relativo al total
Desechos de comida	499.51	53.73	36.63
Residuos de jardín	246.12	26.47	18.05
Excremento animal	11.92	1.28	0.87
Madera	7.70	0.83	0.56
Periódicos	44.38	4.77	3.25
Empaque	0.09	0.01	0.01
Revistas	19.64	2.11	1.44
Papel de oficina	20.98	2.26	1.54
Papel diverso	7.38	0.79	0.54
Cartón diverso	53.89	5.80	3.95
Cartón	18.02	1.94	1.32
Total Orgánico	929.63	100.00	68.16
INORGÁNICO	**Peso en kg**	**% Relativo a inorgánicos**	**% Relativo al total**
Papel celofán	0.13	0.03	0.01
Papel plastificado	4.17	0.96	0.31
Papel encerado	0.05	0.01	0.00
Bolsas de plástico	25.853	5.95	1.90
Plástico diverso	24.645	5.68	1.81
Telas	51.689	11.90	3.79
Vidrio diverso	14.86	3.42	1.09
Aluminio diverso	2.279	0.52	0.17
Cobre	0.69	0.16	0.05
Metal diverso	7.42	1.71	0.54
Desechos sanitarios	117.107	26.97	8.59
Pañales	69.863	16.09	5.12
Foam	12.2	2.81	0.89
Conten. Plástico	47.722	10.99	3.50
Hojalata	20.161	4.64	1.48
Vidrio	0.88	0.20	0.06
Transparente	24.035	5.54	1.76
Verde	1.72	0.40	0.13
Obscuro	5.165	1.19	0.38
Aluminio	3.548	0.82	0.26
Otro	0.01	0.00	0.00
Total inorgánico	434.197	100.00	31.84

Fuente: Elaboración propia con base a resultados de trabajo de campo

Presentan los porcentajes de los residuos orgánicos e inorgánicos relativos al total de residuos analizados en los tres estratos. En lo que se refiere a los orgánicos el estrato alto destaca en la generación de residuos de jardín, madera, revistas y papel de oficina; en el estrato medio son los residuos de empaques, excremento de animal y

cartón; mientras que en el estrato bajo los residuos con mayor porcentaje de participación respecto al total son: papel, cartón y desechos de comida.

En cuanto a los resultados de composición por estrato, los números muestran que en el estrato bajo los residuos orgánicos representan el 54.9%; en el estrato medio representan el 55.47%; en el estrato alto representan el 68.51%. Por otro lado, los residuos inorgánicos, según los datos obtenidos, representan un 45.01% para el estrato bajo; un 44.53% para el estrato medio y 31.49% para el estrato alto.

De acuerdo a esos datos, el estrato alto genera mayor cantidad de residuos orgánicos que los otros dos estratos, esto se debe básicamente a que en este estrato se tira una gran cantidad de residuos de jardín, ya que las viviendas de ingresos altos cuentan con áreas verdes; también el estrato alto genera la mayor cantidad de cartón esto se debe a que con mayor frecuencia consumen productos que tienen esta presentación, principalmente aparatos electrodomésticos, artículos de decoración y algunos accesorios del hogar que son los que ocupan un mayor volumen; otro residuo que sobresale en la generación en el estrato alto es periódico, un factor que influye en esta práctica de consumo puede ser el nivel educativo, el ingreso, el tipo de empleo, entre otros.

Por otro lado, la generación de residuos inorgánicos fue más alta en los hogares de estrato bajo, dentro de los residuos inorgánico están los residuos de pañales desechables, este tipo de residuo se genera por la composición de la familia del estrato, en la hay más niños en edad de lactancia, el cual es un factor que influya en la generación; en el estrato bajo se genera más vidrio, básicamente está influido por las preferencias al consumir productos de este material. Las prácticas de consumo para este caso también influyen en la generación de residuos de plástico diverso así como de telas en el estrato medio. En el estrato bajo, se desechan muchas telas, esto se debe a las prácticas de consumo de ropa de segunda mano con un menor tiempo de vida. En cambio en el estrato medio y alto el desperdicio de tela se debe a las preferencias en cuanto a la compra y uso de ropa de marca, además de la frecuencia con que se realiza dicha compra.

En el estrato alto la composición de los orgánicos fue residuos de jardín, madera, revistas y papel de oficina; en el estrato medio los residuos de excremento de animal y cartón; mientras que en el estrato bajo los residuos con mayor porcentaje de generación respecto al total son: papel, cartón y desechos de comida.

En la tabla 3, están asociados a cada tipo de residuo de la bolsa muestra de basura, con base a la clasificación establecida para este muestreo. El peso promedio de cada residuo refleja ser muy distinto para cada estrato; un ejemplo; los residuos de comida y los de jardín; son generados en el estrato medio y alto. Asimismo los residuos de jardín están también muy diferenciados, representando una cantidad de 1.009 kg para el estrato alto a diferencia del estrato bajo donde éstos son de 0.402 kg

Tabla 3. Medidas de tendencia central

Clasificación de los residuos	Todas las muestras		
	N	Media kg	Desv. Est.
Orgánicos			
Desecho de comida	316	1.599	2.318
Residuo de jardín	316	0.682	4.323
Excremento animal	316	0.037	0.302
Madera	316	0.025	0.365
Periódicos	316	0.150	0.433
Empaque	316	0.000	0.005
Revistas	316	0.069	0.727
Papel de oficina	316	0.069	0.288
Papel diverso	316	0.022	0.085
Cartón diverso	316	0.173	0.407
Conten. Cartón	316	0.032	0.243
Inorgánicos			
Papel celofán	316	0.000	0.006
Papel plastificado	316	0.014	0.078
Papel encerado	316	0.000	0.002
Bolsas de plástico	316	0.088	0.225
Plástico diverso	316	0.080	0.558
Telas	316	0.182	0.721
Vidrio diverso	316	0.052	0.295
Aluminio diverso	316	0.008	0.037
Cobre	316	0.002	0.029
Metal diverso	316	0.025	0.174
Desechos sanitarios	316	0.360	0.593
Pañales	316	0.218	0.690

Foam	316	0.037	0.132
Conten. Plástico	316	0.166	0.178
Conten. Lamina	316	0.069	0.135
Conten. Vidrio	316	0.003	0.033
Cont. V. Transparente	316	0.082	0.338
Cont. V. Verde	316	0.006	0.060
Cont. V. Obscuro	316	0.019	0.195
Conten. Aluminio	316	0.013	0.033
Conten. Otro	316	0.001	0.007
Otros Inorgánicos	316	0.005	0.085

Fuente: Elaboración propia

Cada bolsa de basura contenía un promedio de 1.599 kg de residuos de comida, los cuales representan la mayor cantidad, respecto al total de los residuos. Dentro de los orgánicos otro rubro importante fueron los residuos de jardín (0.682 kg) y los de cartón diverso (0.173 kg). En la composición de los inorgánicos destaca en primer lugar los desechos sanitarios que en promedio por bolsa de basura fueron 0.360 kg, y los pañales con 0.218 kg en promedio por bolsa.

Con relación a las prácticas de consumo de productos que al desecharse se convierten en residuos peligrosos. Se presenta en la figura 2 el comportamiento por estrato socioeconómico. Se observa que el número de artículos de residuos contaminantes suele ser mayor en el estrato bajo, debido a que el número de habitantes por vivienda es mayor, sin embargo, las presentaciones de sus productos son muy parecidas entre sí, y el tamaño la mayoría de las veces es pequeño. En este estrato la mayor parte de estos artículos son de limpieza del hogar y muy poco los de belleza y aseo personal ya que pueden considerarse estos últimos como un producto de lujo más que un producto necesario. Los artículos de mantenimiento automotriz estuvieron presentes más en este estrato que en los otros, la mayor presencia se debe a que son productos (grasas y aceite para motor) que fácilmente se aplican a los vehículos en el mismo hogar sin necesidad de pagar en algún taller mecánico.

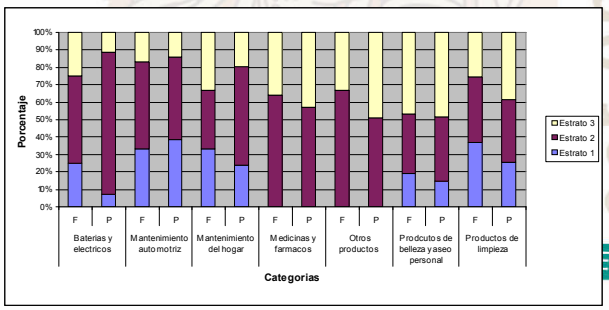


Figura 2. Frecuencia y peso de los residuos domésticos peligrosos por estrato socioeconómico

III. CONCLUSION

La condición fronteriza de la ciudad de Tijuana es un elemento muy importante a considerar al interpretar los resultados. La frontera a diferencia de otros lugares, es una zona donde generalmente se presentan fenómenos que no suceden en el resto de las ciudades que no tienen esta condición, entonces su ubicación delimita un contexto diferente al de otras ciudades, por tanto, los problemas necesitan tomarse desde otro punto de vista.

Por el hecho de estar cercana al mercado norteamericano hay una relación económica entre Tijuana y las ciudades del otro lado de la frontera, ello implica que los hábitos de consumo sean diferentes respecto a ciudades no fronterizas, eso se refleja en los resultados encontrados donde se observa que existe un alto porcentaje de productos de origen extranjero, específicamente norteamericano.

Los patrones de consumo se modifican por la influencia económica que influye e impacta directamente los hábitos de consumo de la población. Por otro lado, las implicaciones de la metodología utilizada y los resultados que se derivaron de su uso están relacionadas con la propia condición fronteriza de la ciudad. En este sentido, es conveniente mencionar que al momento de estudiar tres colonias de la ciudad de Tijuana se buscaba obtener datos específicos como es la generación per cápita por día, no obstante, este último dato no fue posible obtenerlo dadas las características propias de este trabajo.

La caracterización de los residuos en la fase de generación permitió observar que existe una diferenciación en cuanto al volumen y el tipo de residuos generados en cada estrato socioeconómico. A partir de los resultados que se obtuvieron puede mencionarse que la generación de residuos sólidos es un problema complejo y son varios los factores que influyen en la mayor o menor gene-

ración, entre ellos el ingreso, hábitos de consumo y número de habitantes por vivienda.

Los hábitos de consumo de los diferentes estratos están muy relacionados a los niveles de ingreso pero también a la ubicación de ciudad de Tijuana como fronteriza donde existe mayor acceso a productos del exterior. Así lo mostraron los residuos en donde la presencia de productos de origen extranjero era muy grande, el estudio mostró que en la colonia de estrato alto hay un consumo notable de productos comprados en el exterior, y las personas encuestadas manifestaron en el cuestionario, que realizan la mayor parte de sus compras en E.U.

Los hábitos de consumo de la población de Tijuana están influenciados la cercanía con el país de primer mundo con el que es frontera, Estados Unidos. Esto puede observarse por la compra de productos de consumo en el país vecino adoptándose los patrones de consumo de la población de ese país, es decir, se consumen más productos ya preparados, congelados o empaquetados. Esto se demuestra a partir de la caracterización, pues permitió observar que se arrojan a la basura muchos empaques de productos precocidos, preparados, etc, y algunos de origen extranjero.

Una alternativa importante en cuanto al manejo de los residuos es la reducción en el origen, esta es una de las bases para disminuir la generación de residuos, esto es la reducción de materiales desechados que requieren alguna forma de manejo. Implementando programas de manejo de residuos los cuales den a conocer lo importante de consumir productos con menos empaques, y más ligeros, pero esto debe hacerse en conjunto con el sector productivo, de manera que mejoren o cambie el diseño de algunos productos. Aunado a lo anterior, y a fin de revertir las tendencias de generación de residuos, es importante desarrollar acciones que fomenten cambios en los hábitos de consumo.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece a CONACYT y a la convocatoria de apoyo a proyectos de investigación UABC, el financiamiento otorgado para realizar la investigación.

REFERENCIAS

Alonso Luis Enrique (2003) El estructuralismo genético y los estilos de vida: consumo, distinción y capital simbólico en la obra de Pierre Bourdieu. Publicaciones y recursos de sociología. Textos Libres. Universidad Pública de Navarra.
.

Bernache Pérez Gerardo, Bazdresch Parada Miguel, Cuellar Garza José Luis y Moreno Parada Francisco. (1998) Basura y metrópoli: Gestión Social y pública de los residuos sólidos municipales en la zona metropolitana. Universidad de Guadalajara-Colegio de Jalisco-ITESO-CIESAS. Guadalajara.

Castillo Berthier, Héctor. (1997). Ecológica - Los retos ambientales de la Ciudad de México: basura, sociedad y política. En línea: http://www.txinfinet.com/mader/ecotravel/mexico/ecologia/97/1197df3.htm

De Pablos Ramírez Juan Carlos y Sánchez Tovar Ligia (2003) Estilos de vida y revitalización del espacio urbano Revista Sociológica. Papers 71, 2003 11-31

Hawkins Del I, Best Roger J. y Coney Kenneth A. (1997) Comportamiento del consumidor. Repercusiones en la estrategia del Marketing. Editorial Mc Graw Hill. México

Ojeda Benítez Sara (2006) El consumo como fuente de generación de basura y contaminación. En Quintero Núñez Margarito (Editor) Contaminación y Medio ambiente. Serie editorial Cincuentenario de la UABC pp 227-249 Editorial Miguel Ángel Porrúa ISBN 970-701-859-3

Generación y caracterización de residuos sólidos en Ayahualulco, Veracruz

Arturo, Pancardo Lu, Rosa María Espinosa Valdemar, Jorge Meléndez Estrada, Irma Delfín Alcalá

[1] Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco. Departamento de Energía. División de Ciencias Básicas e Ingeniería. México D.F.rmev@correo.azc.uam.mx jmelende31@hotmail.com;

RESUMEN

Los estudios de generación y caracterización de los residuos sólidos son la base para la elaboración de diagnósticos de manejo de residuos que permiten definir la vocación de estos y por lo tanto sentar las bases para la gestión integral de los residuos. El Municipio de Ayahualulco, Veracruz no contaba con la información básica para el diagnóstico de los residuos generados y mucho menos con un procedimiento adecuado de recolección y disposición final de residuos sólidos, por lo que las autoridades están muy interesadas en contar con un Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos. De esta manera la UAM-Azcapotzalco decidió apoyar al municipio, conociendo la problemática actual en la región y así aportar propuestas para el manejo adecuado de estos. Los estudios de generación, así como los muestreos para composición y peso volumétrico se llevaron a cabo en fechas diferentes, las cuales fueron obtenidas a través del método de cuarteo conforme a las normas vigentes establecidas. Los resultados de la generación como de la composición de residuos, aportan datos básicos para decidir el manejo más adecuado para la región. Estos resultados permitieron completar el diagnóstico de los residuos en el municipio y hacer una propuesta de manejo integral de residuos sólidos.

Palabras Clave – Manejo de Residuos Sólidos Municipales, Ayahualulco, generación, caracterización.

ABSTRACT

Generation studies and characterization of solid waste are the basis for the development of diagnostics waste management that define the vocation of these and therefore define the groundwork for the integral management of waste. The municipality of Ayahualulco, Veracruz not had the basic information for the diagnosis of the waste generated and much less an appropriate procedure for the collection and final disposal of solid waste, so the authorities are very interested in having an integral solid waste management plan. This way the UAM-Azcapotzalco decided to support the municipality, knowing the current problems in the region and thus provide proposals for the adequate management of solid waste. This study was carried out in two villages of the municipality 2 samples were collected at different times, the generation study was conducted, samples for composition and volumetric weight were obtained through the "quartering method" in accordance with the established standards. The results obtained both generation and the composition of waste provides basic data to decide the most appropriate management for the region. These results allow completing the diagnosis of waste in the municipality and making a proposal of integral solid waste management.

Keywords – Waste Solid Management, Ayahualulco, Generation.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la cantidad de residuos sólidos urbanos y rurales se ha incrementado a la vez que su composición se ha ido modificando. La manipulación y disposición final de los desperdicios sólidos y semisólidos, originados como producto de la convivencia humana, tiene un significado social, de salud pública y económica y requiere de la participación de varias disciplinas en su conjunto para darle solución. La generación de basura de acuerdo a los datos estadísticos del 2005 es de 97,000 ton/día en todo el país y en Veracruz de 5,280 ton/día (Foro Internacional de Residuos Sólidos, 2008).

Los residuos sólidos municipales (RSM) son aquellos que provienen de las actividades domésticas y comerciales, así como los resultantes del barrido y limpieza de vías y áreas públicas, y cuya gestión está a cargo de las autoridades municipales (Günther y Hernández, 2002).

La generación porcentual a nivel nacional de RSM es la siguiente: productos de papel y cartón 14.91%, textiles y plásticos 7.61%, vidrio 6.38%, basura orgánica 50.74% y otros 20.34%. En cuanto a la disposi-

ción final se tiene que en los rellenos sanitarios se deposita el 54.71% de los RSM, en rellenos de tierra controlados el 10.41%, en tiraderos a cielo abierto el 31.61% y sólo el 3.25% se recicla (Foro Internacional de Residuos Sólidos, 2008).

Habitualmente se le ha establecido al Estado la responsabilidad de limpieza de áreas públicas y el servicio de recolección de los residuos generados en casas habitación. La gestión de residuos sólidos municipales en México es de competencia municipal y considerando la heterogeneidad en su estructura desde municipios rurales hasta municipios con más de un millón de habitantes, resulta preciso buscar soluciones adecuadas para las diferentes situaciones (Foro Internacional de Residuos Sólidos, 2008).

El municipio de Ayahualulco, como muchos otros en el país, tiene la problemática de la disposición final de sus residuos sólidos. La Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco (UAM-A), desde 2006 apoya a esta región realizando estudios socioambientales, propiciado por la preocupación de los habitantes de estas comunidades y por la mismas autoridades, en relación a que una inadecuada disposición de la basura tiene repercusiones en la salud (puede transmitir enfermedades por animales que se reproducen sin control en medio de los desechos), la contaminación de las aguas (al ser botaderos de basura que degradan la calidad de la misma), el paisaje (la proliferación de olores desagradables) y el suelo (los desechos sólidos, cuando dan origen a líquidos que contienen elementos tóxicos, pueden producir la contaminación de los suelos por lixiviados).

Hasta el momento, se ha dado inicio con un estudio de cuantificación y tipificación de los residuos sólidos generados en días de alta y baja producción en la cabecera municipal de Ayahualulco en el estado de Veracruz. Para esto se abarcó la ruta del manejo de los residuos sólidos del municipio como la generación, separación, recolección, transporte y disposición final. Lo anterior se espera beneficie considerablemente a dicha comunidad pues el manejo adecuado de los desechos orgánicos e inorgánicos, la reducción en la generación de los mismos y el fomento del reuso y el reciclado propicia una reducción de costos directos e indirectos para la gestión de los residuos sólidos y consecuentemente un ambiente más limpio y sustentable de la región.

II. METODOLOGÍA

Durante todo el proceso de planeación estratégica se requirió reunir información y procesarla de tal manera que se obtuvieran datos confiables y útiles para la toma de decisiones, planeación, resolución de problemas y adquisición de nuevos conocimientos.

Para el desarrollo de este estudio se planteo el avance por etapas del ciclo del manejo de los residuos. A este respecto se planteo atacar directamente la problemática haciendo uso de diferentes herramientas de monitoreo las cuales se describen a continuación:

1. Entrevista con Autoridades.

Primero se comenzó por conocer aspectos básicos como tener entrevistas con las autoridades e involucrados directos como los operadores. De esta manera se les dio a conocer el contenido del proyecto y los alcances y metas propuestas derivadas de los objetivos planteados.

2. Visitas de Reconocimiento.

Entre otras actividades se incluyó el realizar visitas de reconocimiento tanto en la cabecera municipal como en las comunidades aledañas que conforman este municipio. En dichas visitas se estimaron los tiempos de traslado y una prospección física de la superficie de la comunidad. Con el fin de generar datos suficientes, que contribuyeran, en la definición de estrategias para dar solución al problema de la basura en el lugar.

3. Impartición de Talleres de Integración y Educación Ambiental.

Se realizaron talleres de integración y educación ambiental a estudiantes de los tres niveles educativos existentes (primaria, secundaria y telebachillerato) (TEBA), como parte del la estrategia de sensibilidad ambiental y dar difusión a la Carta de la Tierra. Este fue una actividad muy relevante para involucrar a los participantes y de ahí derivó parte de la ayuda para realizar los estudios del cuarteo.

4. Determinación Cualitativa y Cuantitativa de los Residuos Generados.

Esta actividad consistió en determinar cualitativa y cuantitativamente los residuos generados *per cápita* al día, así como la caracterización de los distintos tipos de residuos generados en la población.

Esto se llevó a cabo a través de la elaboración y aplicación de una metodología basada en la normatividad mexicana que consiste en la tipificación y cuantificación de residuos sólidos y subproductos generados.

NMX-AA-061-1985. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos- Sólidos Municipales-Determinación de la Generación.

NMX-AA-015-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales Muestreo - Método de Cuarteo.

NMX-AA-022-1985. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales- Selección y Cuantificación de Subproductos.

NMX-AA-019-1985. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales- Peso volumétrico *in situ*.

5. Aplicación de encuestas a tres niveles

Otra herramienta de monitoreo consistió en la aplicación de tres tipos de encuestas dirigidas a diferentes sectores de la población.

- Sector autoridad municipal. Esta consistió en la aplicación de 51 reactivos relacionados con el manejo de todo el ciclo actual de los residuos generados.
- Sector personal encargado del servicio de limpia. Se aplicaron 51 preguntas
- Sector poblacional. Consistió en aplicar 20 reactivos relacionados con una descripción del manejo actual de su basura.

Cabe hacer mención que estas encuestas se aplicaron de acuerdo a un formato preestablecido según la NMX-AA-061-1985.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El manejo general de la recolección y disposición de los residuos sólidos municipales está a cargo del ayuntamiento del municipio, teniendo un oficial mayor, el cual es el principal responsable del manejo de estos, esta estructura va desde el presidente municipal hasta los encargados del barrido en la cabecera municipal (Tabla 1). Cabe mencionar que el servicio de recolección no es para todas las localidades del municipio, si no para las localidades que han solicitado el servicio y solamente consiste en la recolección de los residuos.

Tabla 1. Personal del Municipio que se dedica a la recolección

Función	No. de personas	Horario
Oficial mayor	1	9:00 a 18:00 horas toda la semana excepto sábado
Barrido	2	9:00 a 18:00 horas toda la semana excepto sábado
Recolección	4	9:00 a 18:00 horas toda la semana excepto sábado
Chofer	1	9:00 a 18:00 horas toda la semana excepto sábado

Para la recolección de RSM el servicio está dividido en sectores y zonas, como lo son: todas las calles de Ayahualulco, en las calles principales de Xolololoyan, Xoquitla, Xocotepec, El Triunfo, Tlalconteno, Cetlalpan y Los Altos, es importante mencionar que muchas de las localidades del municipio, cuentan con solamente una calle, debido a eso se generalizan mencionando las calles principales, con excepción de Ayahualulco y Los Altos. El tamaño de las cuadrillas consta principalmente de 1 chofer más 3 operadores que se encargaran de la recolección. En la figura 1 se muestran estas rutas de recolección.

Las rutas establecidas actualmente fueron diseñadas de acuerdo a criterios y experiencias de las autoridades municipales



Figura 1. Ruta recorrida para la recolección de basura al tiradero

El sistema de recolección en el municipio es manual, se recolectan aproximadamente 10 toneladas al día de RSM y las localidades que cuentan con este servicio son: Ayahualulco (cabecera municipal), Xocotepec,

Xololoyan, Xoquitla, El Triunfo, Tlalconteno, Los Altos y Cetlalpan

Estudio de Cuarteo

Se realizaron dos estudios de generación, cuantificación y clasificación de los RSM en Ayahualulco. El primer estudio se realizó en junio del 2008 y el segundo en septiembre del 2009. Se escogieron estas dos fechas ya que existen temporadas de alta y baja densidad poblacional respectivamente, en el primer caso (junio del 2008) fue una temporada de alta generación ya que existen fiestas municipales y consecuentemente más asistencia poblacional, en septiembre del 2009 fue una temporada de baja generación

El estudio de cuarteo consistió en obtener muestras representativas para la determinación cuantitativa como cualitativa de los residuos sólidos municipales, e identificar los subproductos y el porcentaje de generación *per cápita*.
Dadas las características de las comunidades se tuvieron que realizar algunos ajustes a las técnicas realizadas. Según la normatividad señala que este tipo de estudio debe ir dirigido a cada sector socioeconómico pero como Ayahualulco no tiene distintos estratos socioeconómicos al ser una comunidad pequeña, el estudio fue realizado de forma aleatoria en toda la población. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización de los residuos sólidos en el municipio.

Tabla 2. Resultados generales del cuarteo de Ayahualulco

Peso de Subproductos (Kg)	Peso de residuos en tambos (Kg)	Total (Kg)
25.03	26.6	154.9

Total de personas generadoras	Tiempo Generación(días)	Población Total Municipio (2008)	Generación *per cápita* Kg/día/persona
56	3	23431	0.922

Al tener la homogenización completa de los residuos y haber calculado los pesos volumétricos, se prosiguió a realizar la selección de subproductos (Figura 2). En donde se identifican los subproductos más representativos como son la materia orgánica y los pañales.

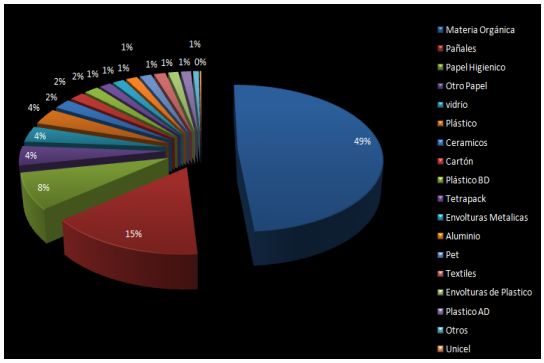


Figura 2. Subproductos en el estudio de cuarteo

Con base al estudio realizado en Ayahualulco, se obtuvo una generación de residuos sólidos municipales de 21,602 kg por día en todo el municipio, por lo que al considerar la población total (23,431 habitantes), resulta un dato de 0.922 kg/persona/día.

Se aplicaron diferentes encuestas en 4 localidades del municipio (Figura 3), para obtener datos reales del servicio de limpia actual y de diferentes características del municipio, además del proceso que se les da a sus residuos sólidos municipales, y verificar si en realidad la población estaba beneficiada y conforme sobre el servicio que se les da.

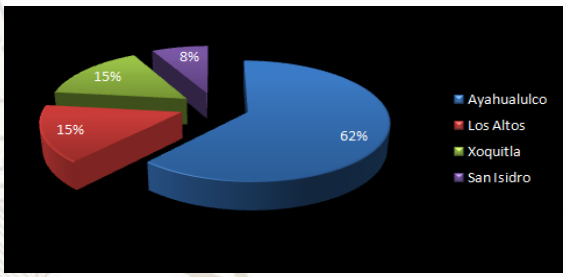


Figura 3. Porcentaje de encuestados por localidad

La mayor parte de la población encuestada, está totalmente conforme con el servicio que se les da, debido a que hace poco tiempo nadie recolectaba sus residuos (Figura 4 y 5).

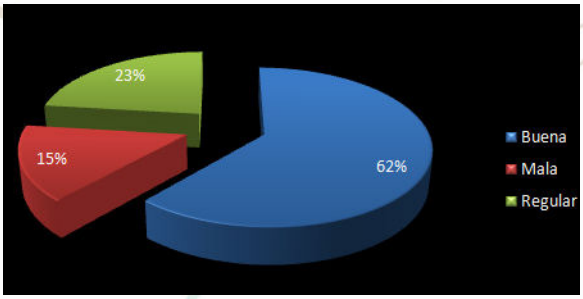


Figura 4. Opinión del servicio de recolección

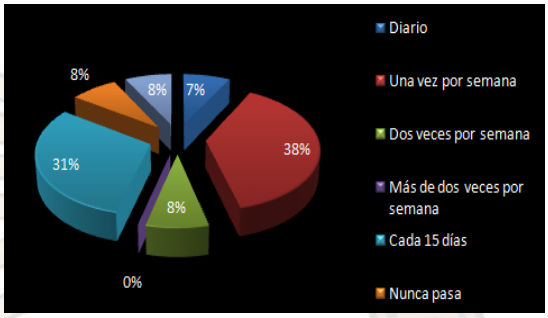


Figura 5. Frecuencia de recolección de los desperdicios

De acuerdo a la figura 5 se comprueba que el servicio de recolección de residuos no se realiza cada semana, esto es debido a varios factores, como el uso de la camioneta ya que es polifuncional, no solo para el servicio de limpia, además de que el camión de volteo no funciona, se identificó que no existe ayuda económica de parte de la población al servicio de limpia, únicamente corre a cuenta de las autoridades del municipio. Lo anterior significa que la frecuencia responde a la capacidad técnica-económica del municipio dado que únicamente posee un camión para realizar la recolección feriada de los desperdicios.

El nivel socioeconómico de la población en las localidades es muy similar, este va de bajo a medio, el número de habitantes por casa es en promedio de 5.8 personas con 3.8 animales de granja y/o domésticos por casa.

Debido a que no se da el servicio de limpia constantemente, la población opta por otras acciones que se ilustran en la Figura 6. La principal es esperar a que pase el camión recolector, sin embargo, no se descarta también, que la quema de basura, el entierro o la inadecuada disposición en terrenos baldíos y cuerpos de agua sea algo recurrente.

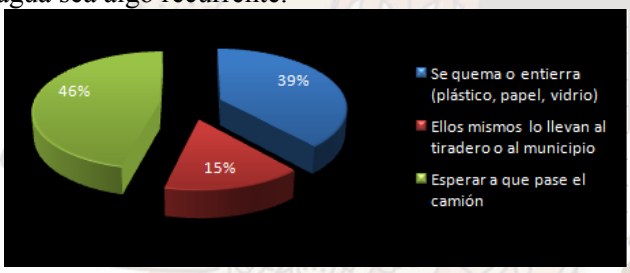


Figura 6. Acciones inmediatas si no pasa el camión recolector.

IV. CONCLUSIONES

Las propuestas para el manejo integral de residuos sólidos municipales deben de adaptarse a las posibilidades económicas del municipio, además de tener un buen rendimiento, dar un mejor servicio, atender a mas localidades del municipio, de preferencia a las de mayor población, sacar el máximo beneficio de los residuos.

Aunque la tasa de crecimiento del municipio resulta ser moderada y consecuentemente su proyección a futuro no implica una elevada concentración de población, se debe trabajar aspectos como el acopio y el composteo dada la gran cantidad de desperdicio orgánico generado, pues la principal actividad es la agricultura, de esta manera se puede lograr una mejor calidad del suelo y de vida.

De igual forma el reciclaje de los subproductos recuperables puede desarrollarse en lugar de que estos sean quemados y no adquirir ningún beneficio con estos, con esto se tiene un gran beneficio ecológico y económico, probablemente las autoridades del municipio no realice toda la separación pero la misma población puede hacer la separación para poder vender estos subproductos, y dar con esto un beneficio al ambiente y a su propia economía.

V. RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a las autoridades de Ayahualulco y los habitantes del municipio que participaron directa o indirectamente en la información recopilada para la realización de este estudio.

VI. REFERENCIAS

- Foro Internacional de Residuos Sólidos. 2008. H. Cámara de Diputados. México D.F. Memorias del Foro. 27 y 28 de Septiembre.
- Günther Wehenpohl, Claudia P. Hernández Barrios. (2002). Guía en Elaboración de Planes Maestros para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales (PMGIRSM).

Efecto de las compras verdes y el desarrollo de infraestructura en la generación de residuos en la UAM-Azcapotzalco

Roberto Carlos Vázquez Solís, Irma Delfín Alcalá, Rosa María Espinosa Valdemar, Alfonso de la Torre Vega, Alethia Vázquez Morillas.

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Del. Azcapotzalco, C. P. 02200, México, D. F.
Tel. 555318 9062, email: separaccion@correo.azc.uam.mx

Resumen

La Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana mantiene el compromiso de contribuir a mantener y mejorar el ambiente a través de la formación de sus estudiantes, la generación del conocimiento y de una gestión ambiental con enfoque de sustentabilidad. Ésta se conforma de distintos programas; uno de ellos, ***Separacción***, está encaminado a la separación de los residuos sólidos urbanos en dos clases: 1) recuperables y 2) no recuperables. Inició hace 7 años y, a partir de 2005 se lleva el registro de la cantidad de materiales enviados a reciclar. Esta contabilidad ha permitido identificar tendencias y determinar el efecto de acciones administrativas relacionadas con la adquisición de productos o el desarrollo de la infraestructura.

En el caso de dos de los subproductos separados -envases de PET y envases de cartón multicapa-, ha habido una variación importante en los dos últimos años. La generación de PET disminuyó casi el 50%, debido a la instalación 13 bebederos. En relación a los envases multicapa, el volumen se incrementó casi 200%, debido a la sustitución de envases de bebida de mayor capacidad por envases individuales. El comportamiento en otro tipo de residuos recuperados no ha presentado tendencias continuas. Sin embargo, el comportamiento del PET y los envases multicapas muestran claramente que las decisiones sobre la gestión del campus pueden orientar la generación de residuos. Este principio, fundamental para la formulación de criterios de compras verdes, se está tomando en cuenta en la toma de decisiones a nivel administrativo.

Palabras Clave – compras verdes, residuos sólidos, reciclaje, PET, Multicapas, Separacción

Abstract

The campus Azcapotzalco of the Universidad Autónoma Metropolitana has a long tradition in caring and preserving the environment, in activities that include teaching, knowledge generation and environmental management programas focussed on sustainability. One of them, called Separacción, segregates waste in two types:1) recoverable and 2) non recoverable. The program began seven years ago, and since 2005 an exhaustive register of materials sent to recycling processes has been kept. This accounting allows to identify tendencies and to observe the effect of administrative actions related to purchase and infrastructure development.

Two of the recovered wastes have shown a peculiar behavior in the last three years: PETE bottles and multilayer disposable containers. PETE generation decreased almost 50%, due to the installation of 13 sprues. Multilayer containers production increased almost 200% in 2009. The reason is in the coffee shop of the university, where beverages purchased in longer multilayer containers were substituted by smaller containers. The cases of PETE and multilayer containers show how campus management decisions can change abruptly the amount of kind of waste produced. This fact must be considered always for those in charge of the campus management.

Keywords – Solid waste, PETE, Recycled, Separacción, multilayer containers, green purchasing

I. INTRODUCCIÓN

Desde su fundación, la Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-A) ha sido visionaria en cuestiones ambientales, como muestra la creación de la primera licenciatura en el país en Ingeniería Ambiental, en 1974. A lo largo de los años algunos profesores y alumnos de esta licenciatura han realizado acciones dentro de las instalaciones, en pro del ambiente. Así se iniciaron esfuerzos aislados en ahorro de energía, arbolado urbano y estudios de la generación y caracterización de residuos sólidos urbanos y de aguas residuales. Con el paso de los años y gracias al trabajo multidisciplinario y al apoyo de las autoridades, estas acciones se han articulado y se convirtieron en programas con resultados concretos.

En la última década, la UAM-Azcapotzalco dio pasos importantes para el fortalecimiento de la dimensión ambiental y la búsqueda de la sustentabilidad en sus funciones sustantivas y operación cotidiana, lo que condujo a la formulación, en 2008 y 2009, del **Plan Institucional Hacia la Sustentabilidad de la UAM-Azcapotzalco** (PIHASU UAM-A).

El PIHASU UAM-A establece un conjunto de estrategias y acciones relacionadas con la docencia, investigación, difusión y gestión del campus que permiten orientar su actividad hacia la sustentabilidad, a través de la participación de todos los integrantes de la comunidad universitaria: alumnos, profesores-investigadores y administrativos.

Uno de los programas que ha tenido una influencia muy importante para avanzar hacia la sustentabilidad es el Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos denominado Separacción "Por un mejor UAMbiente" que se puso en marcha formalmente en octubre de 2003.

Los objetivos institucionales del Programa "*Separacción*" son:

- Concientizar a la comunidad de la UAM-A sobre la problemática de los residuos.
- Involucrar a la comunidad en la separación de los residuos de la Unidad.
- Cumplir con la legislación ambiental del Distrito Federal en materia de residuos sólidos.

El Programa contempló desde su inicio 3 etapas operativas: la primera para la separación de residuos en áreas abiertas; la segunda en áreas de oficinas, y la tercera para el manejo adecuado de residuos de laboratorios y talleres.

A partir de los datos aportados por estudios realizados durante 5 años por alumnos de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental de este Campus, se encontró que la comunidad universitaria genera un promedio semanal (sobre la base de cinco días hábiles) de 7.74 toneladas de residuos sólidos, urbanos y de manejo especial, de los cuales 1.72 toneladas son residuos de jardinería (Gálvez y de la Torre, 2003), lo que equivale a una generación *per cápita (*dentro de Campus*)* de 0.110 kg/día/persona; estos mismos estudios permitieron conocer la composición de estos residuos.

El análisis de la composición de los residuos permitió establecer los criterios de separación en las dos fracciones siguientes:

- Primera fracción: residuos recuperables (envases multicapa, envases de vidrio, envases de PET y latas de aluminio),
- Segunda fracción: todo lo demás (residuos no recuperables).

A partir de la puesta en marcha del Programa Separacción y en muchas ocasiones como resultado de estas mismas acciones, se empezó a analizar el tipo de residuos que generaban y la forma en que el consumo institucional, generado por activida-

des administrativas y académica, impactaba la generación y composición de los residuos. Ello condujo a evaluar la posibilidad de cambiar algunos de los productos que la universidad adquiere, con el fin de disminuir la cantidad y el tipo de los residuos generados o bien sustituir productos no recuperables por recuperables. Todo esto, sin disminuir la eficiencia de los procesos operativos.

Así, en 2006 inició el Programa de **Compras Verdes**, apoyado por la Secretaría de la Unidad, a través del cual se han adquirido insumos con un menor impacto ambiental. Entre ellos pueden mencionarse: los vasos reciclables de cartón encerado que sustituyeron a los vasos de unicel, productos de limpieza biodegradables, adquisición de sistemas de aire acondicionado con gases refrigerantes sin clorofluorocarbonos, sustitución de extintores con agentes halogenados por gases inertes, instalación de lámparas ahorradoras y adquisición de papel reciclado, entre muchos otros.

La gestión de residuos en un campus universitario en el que conviven diariamente más de 15,000 personas es una tarea compleja, pues su implementación requiere la participación de la comunidad en su conjunto. La segregación es un aspecto fundamental: el individualizar los diferentes tipos de residuos, permite canalizarlos a las industrias recicladoras correspondientes, en tanto que el resto (residuos no recuperables) son depositados en los sitios de disposición final o enviados a composteo. Sin embargo, es posible, desde los puntos en que se toman decisiones sobre la administración universitaria, orientar y modificar algunos aspectos de la generación de residuos. Este trabajo muestra dos ejemplos claros del efecto de las compras verdes a ese respecto.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El efecto de las compras verdes en la generación de residuos se analizó a partir de los datos generados para la operación del programa Separacción. Los residuos que fueron depositados por los generadores en las 2 fracciones mencionadas anteriormente (recuperables y no recuperables) se recolectaron en bolsas separadas y se llevaron al centro de acopio en donde se realizó una segunda separación. Posteriormente los residuos ya clasificados se pesaron, registraron y se almacenaron hasta su envío a reciclaje. Mediante este proceso, se cuenta con el registro continuo del peso de los residuos recuperables que se han enviado a reciclar a partir de 2005.

El Programa de compras Verdes ha tenido en particular, dos acciones que se tomaron y que tuvieron repercusión en las cifras de registro del Programa: la instalación de bebederos y la sustitución de envases de bebida de mayor capacidad por envases individuales.

Colocación de bebederos

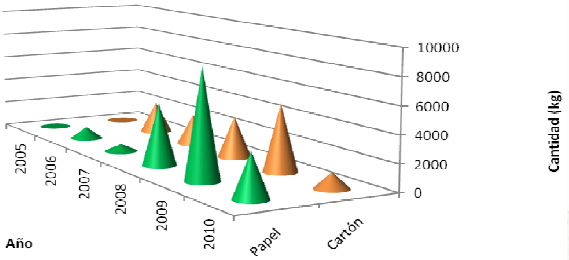
A partir de 2008 se instalaron 13 bebederos en las instalaciones de la UAM-A, estos equipos suministran agua purificada tanto para beber directamente como para rellenar envases. Cuentan con un sistema de purificación de carbón activado y luz ultravioleta con un flujómetro para determinar los periodos de sustitución de los cartuchos y las lámparas. Los bebederos, ubicados en los pasillos de la planta baja, son accesibles para toda la comunidad, y por su diseño, permiten el llenado de botellas y distintos envases. Cuentan con un programa de mantenimiento permanente, y durante su operación no se han detectado fallas en su funcionamiento.

Cambio de envases en la cafetería

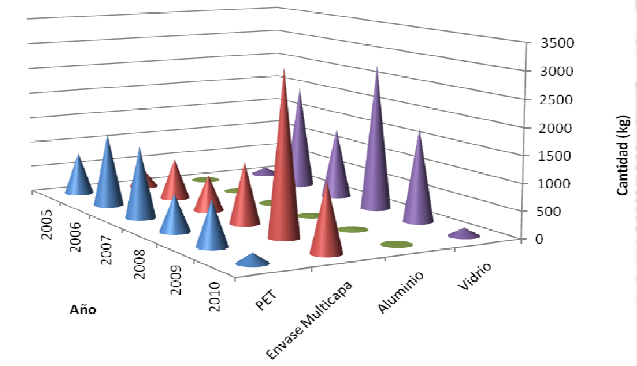
Otro cambio se realizó en la cafetería de la Unidad, la cual ofrece 2500 desayunos y 3500 comidas diariamente. Tradicionalmente se proporcionaba a los consumidores la leche en vasos de plástico desechable de polietileno de baja densidad. En 2007 se decidió modificar el servicio, y a partir de entonces la leche se sirve envases multicapas individuales de 250 ml.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La contabilidad y el registro de los residuos han permitido identificar tendencias y determinar el efecto de acciones administrativas relacionadas con la adquisición de productos o el desarrollo de la infraestructura. En la figura 1 se muestra el registro de los residuos del 2005 al 2010



	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Papel	0	932	558	4732	8262	3321
Cartón	0	2487	2370	3174	5103	1212



	2005	2006	2007	2008	2009	2010
PET	814	1402	1362	702	851	186
Envase Multicapa	355	787	683	1163	3066	1279
Aluminio	5	20	7	18	24	2
Vidrio	134	2029	1357	2775	1759	151

Fig. 1 Materiales recuperables enviados a reciclar

Como puede observarse, la generación de PET disminuyó casi el 50% de 2007 a 2008, debido a la instalación, a partir de 2008, de los bebederos. Los estudiantes y trabajadores compran menos envases de agua y refresco, y rellenan con agua purificada los que adquieren, reutilizándolos. En relación a los envases multicapa, cuyo volumen se incrementó en un 70% de 2007 a 2008, y en casi 200% en 2009. Si bien se incrementó en gran medida la cantidad de los residuos derivados de los materiales multicapa, el efecto ambiental final fue positivo, pues se eliminó el uso de vasos de plástico desechables, que no se reciclan.

El comportamiento en otro tipo de residuos recuperados no ha presentado tendencias continuas. En el caso del aluminio, éste con frecuencia es recuperado de forma personal por algunos empleados y no llega al centro de acopio. En lo que se refiere al vidrio, su generación depende en gran medida de las actividades de adaptación y remodelación de espacios y la realización de eventos académicos en los que se consumen grandes cantidades de botellas. La separación de residuos como el cartón y el papel que se generan, principalmente en oficinas y áreas administrativas estaba prevista para la segunda etapa del programa, pero la separación realizada en la primera etapa permitió que de forma natural se separaran estos residuos.

Los casos del PET y los envases multicapa muestran claramente los efectos de las decisiones relacionadas con la gestión del campus, que pueden orientar la generación de residuos.

IV. CONCLUSIONES

Un programa de gestión de residuos funcional requiere, por definición, de la participación activa, consciente y comprometida de los generadores de residuos. Esto ha quedado demostrado en el caso de Separacción, el programa de manejo de residuos de la UAM-Azcapotzalco, en el que a través de los años se ha logrado la participación de la comunidad universitaria, lo cual se refleja en los resultados. La otra parte del trabajo corresponde a la institución, que debe aportar la infraestructura, humana y material, para sostener estos programas. Sin embargo, existen también medidas menos evidentes, que pueden de igual manera impactar la generación y el manejo de residuos. Tal es el caso de las compras verdes y el desarrollo de infraestructura.

Para el desarrollo adecuado de un programa de compras verdes, los sistemas administrativos institucionales deben considerar un análisis insumo-producto basado en el enfoque de ciclo de vida con la sistematización de datos de entrada y salida para poder tener información que permita tomar decisiones que reorienten la actuación del sistema.

Lo anterior genera nuevas necesidades para las instituciones. Los sistemas de gestión del campus se deben automatizar, de forma que se pueda contar con información confiable y expedita. Esto permitirá una administración más eficiente, pero además será útil para compartir con la comunidad universitaria los resultados obtenidos tanto por su aportación al esfuerzo colectivo como por decisiones administrativas específicas. Mediante este mecanismo de concientización, alumnos, profesores-investigadores y administrativos vean el resultado colectivo de su participación individual en los sistemas de gestión ambiental.

La toma de decisiones administrativas basadas en proyectos y programas académicos y de investigación orienta hacia el desarrollo de un modelo de gestión del campus con resultados comprobables, experiencia deseable de replicarse a escalas de administraciones públicas mayores.

VI. REFERENCIAS

UAM-Azcapotzalco, Plan Institucional hacia la Sustentabilidad Unidad Azcapotzalco (PIHASU), 2009, Reporte interno.

R.M. Espinosa, S. Turpin, G. Polanco, A. de la Torre, I. Delfín, I. Raygoza, Integral urban solid waste managemet program in Mexican university, 2008, Waste Management.

Presentación
Antecedentes
Extensos
Sede
Contacto

2. Minimización.

• Una Alternativa de Gestión Para Residuos Químicos Generados en Laboratorios Universitarios.



Una Alternativa de Gestión Para Residuos Químicos Generados en Laboratorios Universitarios.

Adriana Consuelo Mera Benavides
Universidad del Magdalena
Santa Marta Magdalena Colombia.
adrymera@hotmail.com

Resumen

Las Universidades que cuentan con laboratorios de análisis químico y ambiental, manejan sustancias químicas y efectúan diversas operaciones que conllevan a la generación de residuos, en la mayoría de los casos peligrosos para la salud y el ambiente. La nueva alternativa planteada en este trabajo: "Segregación de residuos por asignatura y a su vez por prácticas o actividades de laboratorio", controla, trata y elimina los residuos generados en los mismos, de una manera integral, esta gestión garantiza conocer con certeza el contenido y características físicas y químicas de los desechos segregados, evitándose con ello accidentes, facilitando su tratamiento, posible recuperación, reutilización y evitando que sean arrojados a desagües y basuras domésticas. Con este trabajo se desea lograr un correcta Gestión Integral de residuos generados en laboratorios de análisis químico y Ambiental. Para establecer esta nueva alternativa de clasificación, se realizaron varias actividades entre ellas una amplia consulta bibliográfica, un análisis de experiencias, actividades desarrolladas en el laboratorio de Ingeniería Ambiental, claridad en el instante de la segregación, facilidad de recuperar y reutilizar los desechos, entre otras. La alternativa planteada clasifica y recolecta los desechos químicos dentro del laboratorio en grupos y subgrupos, según las prácticas o actividades de laboratorio a realizar durante el semestre. La alternativa planteada permite recolectar de manera adecuada los residuos generados en las prácticas de laboratorio, permitiendo su fácil recuperación y potencial reutilización, igualmente facilita identificar residuos peligrosos y no peligrosos. Con la aplicación de esta alternativa se han recuperado reactivos útiles como: sulfato de cobre, cromato de potasio, etanol, soluciones desinfectantes, soluciones salinas, soluciones ácido-base, dióxido de silicio, dióxido de manganeso y azufre.

Palabras claves: Residuos Químicos, Gestión Integral, Recuperación, Reutilización.

Abstract

Universities that have laboratories of chemical and environmental analysis manage chemical substances and they make diverse operations that bear to the generation of residuals, in most of the cases resulting dangerous for human health and the environment. The new alternative outlined in this work "residuals segregation for subject and for practice or laboratory activities", It controls, It handles and It eliminates the residuals generated in the same ones, in an integral way, this manage assure to know with certain the content and characteristics physicochemical of the segregated waste, being avoided with this process to have an accident, facilitating Its treatment, possible recovery, reuse and avoiding that they are dumped to drainages and household waste. To achieve a correct integral manage of residuals generated in laboratories of chemical analysis and environmental. In order to establish this new classification alternative, several activities were done among them a wide bibliographical research, and analysis of experiences, activities developed in the laboratory,

clarity in the moment of the segregation, easiness of recovering and reuse of wastes, among others. The outlined alternative classifies and gathers the chemical waste inside the laboratory in groups and subgroups according with each practice or laboratory activities to carry during the semester. The outlined alternative allows gathering in an appropriate way the residuals generated in laboratory practices, allowing its easy recovery and potential reuse, equally it facilitates to identify dangerous and not dangerous residuals, with the application of this alternative several useful assets have been recovered such as: copper sulphate, chromate of potassium, ethanol, disinfectant solutions, saline solutions, acid- base solutions, silicon dioxide, manganese, dioxide and sulphur.

Key words: chemical wastes, integral manage, recovery, reuse.

I.INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental causada por la generación de desechos peligrosos es un problema creciente y globalizado. La actividad industrial, minera y de otros tipos, ha descargado al ambiente un sinnúmero de sustancias peligrosas para los humanos y los recursos naturales. Los residuos peligrosos, una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación.

A diferencia de otros contaminantes que pueden ser desintegrados en componentes inocuos a través de tratamientos químicos o térmicos, los metales, especialmente los pesados, no pueden ser destruidos (Aguilar, Sánchez y Rodríguez, 2001). En los laboratorios de análisis químico y ambiental se manejan sustancias químicas y se efectúan diversas operaciones que conllevan a la generación de residuos que, en la mayoría de los casos, son peligrosos para la salud y el ambiente. Aunque el volumen de residuos que se genera es relativamente más bajo en relación al proveniente del sector industrial, no por ello debe considerarse como un problema menor (López, 2004).

Por lo anterior, unas adecuadas condiciones de trabajo en el laboratorio implican inevitablemente el control, tratamiento y eliminación de los residuos generados en el mismo, por lo que la fase de su segregación es un aspecto imprescindible en la organización de cualquier laboratorio (Herrera, 2000). Esta fase se hace especialmente necesaria en nuestro país, debido a que en la mayoría de las instituciones educativas no se identifican ni se cuantifican los residuos químicos ni, mucho menos, se cuenta con sistemas para su tratamiento.

En el planteamiento de una alternativa de segregación es necesario incluir principios de producción más limpia (PML) y, como primera condición, deben considerarse la minimización o reducción de los residuos a generar y la sustitución de sustancias peligrosas por otras menos peligrosas para la salud y el ambiente.

Además, es de gran importancia tener en cuenta que las técnicas analíticas son cada vez más sensibles, permitiendo utilizar menores cantidades de reactivos. Igualmente debe plantearse la posibilidad de recuperar y reutilizar los residuos dentro de las actividades realizadas en el laboratorio. Luego de analizadas y realizadas las etapas anteriores, debe considerarse como último paso en el ciclo de vida de cualquier sustancia su disposición final, específicamente para aquellos residuos que no puedan ser aprovechados después de realizar un minucioso análisis y ensayos de alternativas de tratamiento para lograr que sea posible aprovecharlos (Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Colombia, 2005).

A nivel mundial se presentan diferentes guías y reglamentos (Benavides, 2007; Blazquez, 2004; Instituto Nacional de higiene y Seguridad Espa-

ña, 2003; Universidad de Concepción Chile, 1998; Universidad de Sevilla, 2002; Palacio, 2004), en los que la clasificación de los residuos generados en laboratorios de análisis se encuentra basada en grupos donde se consideran las características físicas y químicas de los productos, su peligrosidad y el destino final de los mismos. La mayoría de estos textos guías coincide en que una posible agrupación de residuos con características comunes puede ser la siguiente: metales pesados, ácidos, sales de metales pesados, bases, halógenados, disolventes, organometálicos, disolventes clorados, hidrocarburos y pesticidas.

La anterior clasificación se fundamenta en la compatibilidad química. Sin embargo, se debe resaltar que esta clasificación genera mezclas en las que realizar un aprovechamiento se hace complejo, lo que constituye un aspecto fundamental para minimizar el impacto ambiental. Igualmente se aumentan los costos de tratamiento y/o disposición final, porque, al no aprovechar los residuos, los volúmenes serán más grandes. Cabe también destacar que si aquellos residuos químicos se mezclan de forma inadecuada, debido a un descuido, se podría presentar una reacción o varias reacciones en cadena peligrosas para todas las personas que laboran en los laboratorios, además de un desequilibrio ecológico (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España, 2003).

Por ello, y con el fin de lograr una correcta segregación de residuos generados en laboratorios universitarios, es necesario proponer una adecuada alternativa de separación de los mismos que garantice, en primer lugar, la seguridad de todo el personal relacionado con el laboratorio (docentes, investigadores, laboratoristas, estudiantes, etc.) y, en segundo lugar, que proporcione condiciones y técnicas para el tratamiento, y ante todo para una posible recuperación, aprovechamiento y/o disposición final de este tipo de residuos, contribuyendo con ello a propiciar un ambiente limpio y una mejor calidad de vida.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para establecer la clasificación de los residuos que a continuación se plantea, se realizaron las siguientes actividades previas:

• Amplia consulta bibliográfica de modelos de clasificación de desechos peligrosos a nivel mundial.

• Estudio de experiencias de clasificación de desechos desarrolladas en otros laboratorios, destacando su viabilidad y resultados obtenidos en el tiempo (Argotí y Hernández, 2005; Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España, 2003).

• Se realizó un análisis de las actividades desarrolladas en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria (lugar tomado para el trabajo), y se consideraron todas las actividades de docencia, investigación y servicios externos, incluyendo, además, todas las materias primas empleadas en cada práctica de laboratorio, siguiendo su transformación y posibles subproductos al mezclarse con otros desechos.

• Consideración de las propiedades físicas y químicas de cada residuo y posible tratamiento de los mismos. En este punto se consideró que la mezcla de residuos peligrosos con residuos no peligrosos trae como consecuencia que toda una mezcla se vuelva peligrosa, incrementando el volumen y aumentando por tanto el costo para eliminarla adecuadamente.

A partir de las anteriores actividades, se establece que la mejor manera de evitar accidentes, lograr aprovechar los residuos, bajar los costos de tratamiento y disposición final, es clasificar los residuos generados, primero por asignatura de laboratorio y, luego, recolectarlos por cada una de las prácticas o actividades realizadas en los diferentes procesos de docencia, investigación y de servicios desarrollados dentro del mismo laboratorio.

Lo anterior garantiza conocer con certeza qué tipo de residuo contiene cada recipiente, manipulación en caso de accidentes y facilidad de tratamiento, posible recuperación y reutilización de estos residuos dentro o fuera del laboratorio. Se debe destacar que los residuos químicos generados en los laboratorios de análisis químico y ambiental, son por principio desechos peligrosos y no deberán arrojarse bajo ninguna circunstancia a desagües o alcantarillados, ni mucho menos a las basuras domésticas.

Propuesta la forma de clasificación de los desechos químicos en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria; se procedió a determinar el mejor material de los recipientes para realizar el almacenamiento de los desechos. En este punto se tuvieron en cuenta aspectos como: resistencia, durabilidad, facilidad de transporte y economía de éste.

Lo más importante de esta alternativa es la claridad que deben tener todos los usuarios del laboratorio en el instante de la segregación, factor importante como etapa inicial para realizar una gestión integral, lo anterior, debido a que una inadecuada disposición por parte del generador dificultará el tratamiento de los desechos. Para ello se determinaron colores para las etiquetas, los cuales se escogieron por ser llamativos y no causar confusión con otros sistemas de color. Igualmente se incluyeron pictogramas para la identificación del riesgo.

Los tratamientos a realizar a los desechos se determinaron teniendo en cuenta aspectos como: recuperación y aprovechamiento, costo del tratamiento, facilidad de aplicación y riesgos del procedimiento, entre otros.

Lista la alternativa se colocó en marcha, realizando semestre a semestre actividades para educar a la comunidad que diariamente utiliza el laboratorio.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clasificación

La alternativa planteada clasifica y recolecta los desechos químicos dentro del laboratorio en grupos y subgrupos. Los grupos principales para la recolección de los desechos químicos se encuentran clasificados primero por asignatura o actividad de laboratorio, las cuales se identifican por siglas. Esta clasificación se expone en la tabla 1.

Cada grupo principal de laboratorio a su vez se divide en subgrupos según las prácticas o actividades en el laboratorio a realizar durante el semestre, segregando por separado los residuos peligrosos y no peligrosos generados en cada una, división que será citada más adelante.

Tabla 1. Grupos principales para la segregación de Residuos Químicos.

Grupo	Laboratorio	Siglas
I	Química analítica	LA
II	Fisicoquímica	LF
III	Química sanitaria	LS
IV	Química ambiental	LM
V	Tesis y servicios externos	LTS
VI	Procesos unitarios	LPU
VII	Operaciones unitarias	LOU

Mecánica de funcionamiento

Envases. Para envasar, almacenar y realizar la correspondiente separación de los residuos, tanto sólidos como líquidos, se emplearon recipientes plásticos (polietileno). El tamaño del recipiente depende de la cantidad generada de cada uno de los residuos, utilizándose preferencialmente de uno a dos litros. Los residuos líquidos se disponen en recipientes de boca angosta y los sólidos en recipientes de boca ancha (Foto 1).



Figura 1. Envases utilizados en la separación de los residuos químicos.

Tabla 2. Pictogramas utilizados en la identificación del tipo de riesgo.

Pictograma	Riesgo	Pictograma	Riesgo
	Corrosivo		Toxico
	Explosivo		Nocivo
	Comburente		Inflamable

Etiquetado e identificación de envases. Todos los envases se encuentran correctamente etiquetados, identificando claramente su contenido y acompañados de un pictograma que indica si se trata de un residuo corrosivo, reactivo, tóxico y/o inflamable. Los pictogramas de identificación de riesgo para cada residuo generado que se citan en la tabla 2 fueron tomados de la clasificación que realiza la Comunidad Económica Europea (CVC, 2005). Esta clasificación es utilizada como complemento para el almacenamiento de sustancias químicas en laboratorios, bodegas y en el etiquetado de los frascos o contenedores y es realizada en función de las propiedades físicas, químicas, toxicologías, efecto en la salud y efecto sobre el ambiente que puedan causar las sustancias químicas manipuladas.

Siguiendo con el proceso de clasificación, para las etiquetas se utilizan distintos colores que identifican y diferencian claramente a cada grupo principal (asignatura o actividad de laboratorio). En la tabla 3 se presentan los colores utilizados en las etiquetas.

Tabla 3. Colores de las etiquetas utilizadas para la identificación de los grupos principales.

Grupo	Laboratorio	Color de la etiqueta
I	Química analítica (LA)	Lila
II	Fisicoquímica (LF)	Azul claro
III	Química sanitaria (LS)	Rosado
IV	Química ambiental (LM)	Verde claro
V	Tesis y servicios externos (LTS)	Ocre
VI	Procesos unitarios (LPU)	Beige
VII	Operaciones unitarias (LOU)	Gris

Cada una de las etiquetas tienen dos letras mayúsculas que indican la asignatura (grupo principal) de laboratorio donde se generó el residuo, un número que proporciona la práctica o actividad (subgrupo) de laboratorio a la cual pertenece el residuo y un nombre que proporciona información sobre lo que contiene el recipiente. Cada recipiente tendrá una etiqueta y uno o varios pictogramas para su identificación, facilitándose con ello la correcta y adecuada segregación de los residuos.

En el ejemplo de la foto 2, las dos primeras letras y el color lila de la etiqueta indican que el residuo se generó en la asignatura "Laboratorio de Química Analí-tica", el número indica que el residuo pertenece a la práctica número 6 de dicha asignatura, el nombre sugiere que se trata de una mezcla de ácido sulfúrico concentrado con agua por tratarse de una solución y el pictograma significa que el residuo es de carácter CORROSIVO. En caso de un accidente su manejo se realizará de acuerdo con esta característica relevante, igual que su aprovechamiento, tratamiento y/o disposición final (Figura 2).



Figura 2. Ejemplo de etiquetado e Identificación de envases.

A continuación en la tabla 4 se cita la guía de segregación de todos los residuos que se van a generar durante el semestre en la asignatura "Laboratorio de Química Analítica", la cual será entregada al inicio del periodo académico a cada uno de los estudiantes que cursarán dicha materia. Igualmente se impartirá una conferencia donde se capacitará por espacio de dos horas a los estudiantes de las diferentes asignaturas y actividades que se desarrollarán en el laboratorio durante todo el semestre en aspectos como riesgo, sustancias químicas y gestión de residuos químicos. Como en el ejemplo de guía de segregación citada en la tabla 4, se elaboraron las demás guías para cada una de las asignaturas y actividades desarrolladas en el laboratorio.

La alternativa de segregación planteada en este artículo ha permitido aplicar técnicas para la eliminación y/o recuperación de residuos químicos (Staedter, 2005). Los procedimientos para el tratamiento o eliminación de residuos son varios, siendo en la actualidad los más utilizados: tratamientos físicos (evaporación, destilación, filtración), tratamientos químicos (fotocatálisis (Castro, Huetio y Mera, 2007; Carvajalino, Agudelo y Mera, 2010; Mera y Mera, 2010), acoples fotocatalíticos-biológicos (Baquero, Sterling y Mera, 2009), neutralización, precipitación) y otros como vertimiento directo o almacenamiento para otros usos.

Tabla 4. Residuos Químicos generados en la asignatura Laboratorio Química Analítica (LA) con los respectivos títulos de las etiquetas y características de riesgo.

Número de práctica	Tipo de Desechos generados	Título en la Etiqueta	Características del desecho (Pictogramas)
1	No se generan	-	-
2	No se generan	-	-
3	Mezcla con indicador ácido-base	LA 3-Desechos estandarización de ácido Sulfúrico	-
	Mezcla con indicador ácido-base	LA 3-Desechos estandarización hidróxido de sodio	-
4	Solución ácida	LA 4 –Desechos solución de ácido sulfúrico	-
	Solución básica	LA 4 –Desechos solución de hidróxido de sodio	Corrosivo
	Mezcla ácida con indicador ácido-base	LA 4 – Desechos curvas de titulación	Corrosivo
5	Solución ácida	LA 5- Desechos vinagre	Corrosivo
	Mezcla con indicador ácido-base	LA 5- Desechos titulación de ácido acético	–
6	Solución neutra	LA 6 – Desechos solución de cloruro de sodio	–
	Mezcla con cromo	LA 6 - Desechos prueba blanco cloruros	Tóxico
	Mezcla con cromo	LA 6 – Desechos titulación muestra cloruros	Tóxico
7	Solución desinfectante	LA 7- Solución de hipoclorito	Corrrosivo
	Mezcla ácida	LA 7- Desechos titulación de hipoclorito	Corrosivo
8	Solución básica	LA 8- Desechos solución cal	Corrosivo
	Mezcla básica con indicador metalocrómico	LA 8- Desechos titulación complejométrica	Corrosivo
9	No se generan	-	-
10	Solución ácida	LA 10 – Desechos de Ácido Clorhídrico	Corrosivo
11	Mezcla básica con indicador metalocrómico	LA 11- Desechos titulación con murexida	Corrosivo
	Mezcla básica con indicador metalocrómico	LA 11- Desechos titulación con negro de eriocromo T	Corrosivo
12	Mezcla neutra con colorante orgánico	LA 12 – Desechos azul de metileno	–
	Solución neutra	LA 12 – Desechos de permanganato de potasio	Nocivo - Inflamable

Los tratamientos citados se han aplicado para un 70% de los Residuos generados. Para los residuos restantes (30%) se están estudiando y probando otras posibles alternativas de tratamiento, aprovechamiento y/o disposición final, tales como el compostaje, la electroquímica, entre otros.

La aplicación de esta nueva alternativa en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, ha permitido la recuperación de reactivos como: sulfato de cobre, cromato de potasio, etanol, soluciones desinfectantes, soluciones salinas, so-

luciones ácido-base, dióxido de silicio, dióxido de manganeso y azufre.

El sulfato de cobre y el cromato de potasio, obtenidos por la técnica de evaporación, y el etanol utilizando destilación, son reactivos que han entrado a hacer parte nuevamente de los procesos del laboratorio. Las soluciones desinfectantes son entregadas al personal encargado de los servicios generales para que se utilicen en el aseo de la Universidad, las soluciones salinas van a ser utilizadas como parte de un proceso de compostaje y las soluciones ácido-base libres de indicadores se almacenan y se utilizan en otras prácticas o actividades de laboratorio, aumentándose de esta manera su vida útil y evitando con ello la contaminación ambiental. El dióxido de silicio y el dióxido de manganeso, sólidos obtenidos de forma directa en las prácticas desarrolladas en el laboratorio, se van a utilizar como catalizadores en procesos de fotocatálisis heterogénea, los cuales se han venido empleando en el laboratorio para la desactivación de otros residuos químicos, específicamente para la degradación y mineralización de indicadores ácido-base como la fenolftaleína, el naranja de metilo, verde de Bromocresol, mezcla de sustancias indicadoras y los indicadores metalocrómicos como el negro de ericromo T y la murexida. El azufre, que se genera por precipitación y en cantidades relativamente elevadas, se ha venido almacenando para en un futuro, mediante un proceso químico, físico o biológico, procesarlo y transformarlo en ácido sulfúrico, uno de los reactivos más utilizado en nuestro laboratorio.

Es importante resaltar que esta alternativa de segregación permite aplicar tratamientos relativamente sencillos y de bajo costo. Por ejemplo en la práctica número 6, desarrollada en la asignatura "Laboratorio de Fisicoquímica" (LF), los estudiantes determinan el cambio de entalpía a partir de los datos obtenidos en un calorímetro y aplican la ley de Hess para calcular el cambio de entalpía en los procesos de pentahidratación y disolución del sulfato de cobre. Para alcanzar los objetivos de la práctica, se utilizan dos sales: sulfato de cobre anhidro y pentahidratado, cada una de las sales se coloca en un calorímetro, se adicionan aproximadamente 50 g de agua, se cierra el calorímetro, se agita la mezcla (sal-agua) y se determina la temperatura de equilibrio en el sistema. Cada grupo de laboratorio realiza este procedimiento por triplicado. En el semestre se utilizan aproximadamente 150 g de sulfato de cobre anhidro y 250 g de sulfato de cobre pentahidratado y en los dos casos el residuo químico obtenido es una solución de agua, en la que se encuentra disuelto el sulfato de cobre.

Este residuo se recolecta en un recipiente según la clasificación de segregación citada. Posteriormente se pasa a vasos de boca ancha, los cuales son cubiertos con servilletas (Figura 3) y se deja que la mayor cantidad de agua se evapore a temperatura ambiente. El agua que no se logra evaporar de esta manera, se retira mediante el uso de una estufa. El sólido obtenido, que es la sal de sulfato de cobre pentahidratado, se divide en dos partes, una se guarda y la otra se somete a calentamiento a una temperatura entre 100-105 °C por espacio de dos horas, para obtener el sulfato de cobre anhidro. Es así entonces como las sales se incorporan nuevamente a la misma práctica de laboratorio una y otra vez.



Es importante resaltar que, para elegir el tratamiento o procedimiento más adecuado en el aprovechamiento o correcta disposición de los residuos generados en un laboratorio, se deben considerar algunos aspectos como:

- Volumen de los residuos generados
- Periodicidad de generación
- Posibilidad de recuperación, reciclado o reutilización
- Costo del tratamiento o tratamientos
- Tiempo máximo de almacenamiento

Todos estos factores combinados deberán ser convenientemente valorados con el objeto de optar por un modelo de aprovechamiento, tratamiento y/o disposición final de residuos adecuado y concreto.

Se debe destacar que la sensibilización, educación y participación activa de toda la comunidad relacionada con el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria ha sido un aspecto fundamental en el éxito de la aplicación de esta gestión realizada a los residuos químicos, actividad básica que ha permitido obtener resultados satisfactorios hasta la fecha.

IV. CONCLUSIONES

La alternativa de segregación para los desechos químicos planteada en este trabajo permite recolectar de manera adecuada los residuos generados en las diferentes prácticas y actividades desarrolladas en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, facilitando el tratamiento de los desechos, su potencial recuperación y su reutilización y/o eliminación.

Esta alternativa ha permitido clasificar los diferentes desechos generados en las prácticas y actividades desarrolladas en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, identificando claramente con ello los residuos peligrosos y los no peligrosos.

Con la aplicación de esta alternativa se han recuperado reactivos útiles, como sulfato de cobre anhidro y pentahidratado, cromato de potasio, etanol, soluciones desinfectantes, soluciones salinas, soluciones ácido-base, dióxido de silicio, dióxido de manganeso y azufre, a partir de la utilización de diversas técnicas físicas y químicas.

Esta alternativa de segregación puede servir como una guía de sistematización para la clasificación y etiquetado de los residuos generados en los laboratorios, considerándose también como la primera fase para la construcción de un manual que permita el manejo de residuos químicos.

Es importante destacar que a pesar de realizar campañas de educación, información y modificación de guías de laboratorio para clasificación y reducción de desechos, siempre en cada análisis químico experimental se va a generar residuos, los cuales deben ser tratados y/o dispuestos adecuadamente

V. RECONOCIMIENTOS

A cada uno de los 19 miembros del grupo GIRP (Gestión Integral de Residuos Peligrosos) de la Universidad del Cauca y a los 25 integrantes activos del grupo de investigación GIRPSU (Gestión Integral de Residuos Peligrosos y Sólidos Urbanos) de la Universidad del Magdalena que han permitido convertir diariamente una simple idea de gestión, en una realidad tangible.

REFERENCIAS

Aguilar, Graciela; Sánchez, José Manuel y Rodríguez, Refugio. Residuos peligrosos: Preocupante contaminación. En: Avance y Perspectiva. Vol. 20 (mayo.-junio, 2001); p. 151-158.

Argoti, Juan Carlos y Hernández, Fernando. Agenda de Información. Popayán: Comité de desactivación de Residuos Departamento de Química Universidad del Cauca. R-626 del

2005. Popayán: Universidad del Cauca, 2005. 7 p.

Baquero, Isabel; Starling, Adriana y Mera, Adriana. Acople fotocatalítico - biológico para el tratamiento de desechos complejométricos. En: Lasallista de Investigación Volumen 7 (1) Junio 2010; 10 p.

Benavides, Livia. Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos. [on-line]. Washington: Organización Panamericana de la Salud, 2007. [Citado junio de 2007] URL disponible. En: http://www.cepis.opsoms.org/cdromrepi86/fulltexts/eswww/fulltext/gtz/declarp/guiares.html.

Blázquez, Sonia. Residuos de laboratorio. [on-line]. Alicante: Universidad de Alicante, 26 de junio de 2004. [Citado junio 20007]. URL disponible en: http:// www.ua.es/es/servicios/residuos/index.html

Camargo, Gloria, et al. Plan de manejo de Los residuos químicos generados en las prácticas de laboratorio de la Escuela de Ciencias Químicas de la UPTC. [CD-ROOM]. En: VIII Encuentro Nacional e Internacional De Semilleros de Investigación (Octubre: 2005: Pasto). Pasto-Nariño: Publicaciones Animar, 2005. [Memorias en CD-ROM].

Carvajalino, Marcos; Agudelo, Roxana y Mera, Adriana. Tratamiento Fotocatalítico Heterogéneo para residuos líquidos con presencia de mezcla de sustancias indicadoras generados en laboratorios de la Universidad del Magdalena. Santa Marta, 2010. 85p. Trabajo de grado en Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad del Magdalena. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

Castro, Brenda Astrid; Huetio, Viviana Andrea y Mera, Adriana. Fotocatálisis heterogénea con Dióxido de Titanio y Peróxido de Hidrógeno para el tratamiento de desechos líquidos con presencia de fenolftaleína generados en los laboratorios de análisis químico de la Universidad del Cauca. En: Producción más Limpia (P+L) Volumen 3 Número 1 Julio 2008 p. 36-49.

CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca). Guía de manejo para productos químicos y sus residuos. Santiago de Cali: CVC, 2005. 58 p.

Herrera, Leandro. Procesos de neutralización de residuos industriales líquidos. [on-line]. Santiago: Universidad de Chile, Octubre, 2000. [Citado julio 2007]. URL disponible en: http://www.cec.uchile.cl/~leherrer/iq651/Apunte1/Fisicoqapu01.htm#_Toc493666874

Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España. NTP 480: Gestión de los residuos peligrosos en los laboratorios universitarios y de investigación. [on-line]. Madrid: El Instituto, 2003. [Citado julio de 2007]. URL disponible en: http://www.ugr.unsl.edu.ar/normas/GESTION%20DE%20RESIDUOS.doc

López, Jorge Enrique. Guía práctica para tratamiento de desechos de los Análisis de DQO. Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2004. 30 p.

Mera, David y Mera, Adriana Tratamiento Foto catalítico de aguas residuales generadas en laboratorios con presencia del indicador Verde de Bromocresol. Artículo en Evaluación para publicarse en Intropica Junio 2010.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo. Colombia. Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. [on-line]. Bogotá: El ministerio, Diciembre, 2005. [Citado julio 2007]. URL disponible en:

http//www.minambiente.gov.co/admin/contenido/documento/politica_resid_pel.pdf.

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España. NTP 359: Seguridad en el laboratorio: gestión de residuos tóxicos y peligrosos en pequeñas cantidades. [online]. Madrid: El ministerio, 2003. [Citado junio 2007]. URL disponible en: http:// www.mtas.es/insht/ntp/ntp_359.htm

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España.NTP 276: Eliminación de residuos en el laboratorio: procedimientos generales. Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo del. [online]. Madrid: El mini de residuos en el laboratorio y Seguridad en el Trabajo del. [online]. Madrid: El ministerio, 2003. [Citado junio 2007].

Palacio Sosa, Alyn Mariana. Residuos Peligrosos. Boletín de la Academia General de Biología. [online]. Cuernavaca: Campus Tres Marías, 28, Abril, 2004, No. 8. [Citado julio de 2007]. Disponible en: http://www.cib.uaem.mx/agebiol/bol_abril2004.htm

URL disponible en: http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_276.htm ratorio: procedimientos generales. Instituto Nacional de Higiene

Staedter, Helmut. Memorias Seminario "Sustancias Tóxicas y Peligrosas". [CD–ROM]. Medellín: UTP, 2005. [Memorias en CD-ROM].

Universidad de Concepción. Reglamento de manejo de residuos peligrosos. [online]. Concepción, Chile: Universidad de Concepción: 1998. [Citado julio de 2007]. URL disponible en: http://www2.udec.cl/sqrt/reglamento/reglresiduos.html.

Universidad de Sevilla. Residuos de laboratorio. [online]. Sevilla: Universidad de Sevilla, Unidad del Medio Ambiente, Octubre 2002. [Citado julio de 2007]. URL disponible en: http://www.forpas.us.es/uma/pdf/RESIDUOS%20(RES-MAN) manual%20b%C3%A1sico.pdf

Presentación
Antecedentes
Extensos
Sede
Contacto

3. Reciclaje y reuso.

- Una visión para dimensionar la problemática de los residuos comerciales y su recuperación en Mexicali.
- Determinación de perfiles para el diseño de productos reciclables.
- Proceso hidrometalúrgico para recuperar y reciclar Zinc, Manganeso y carbón de pilas cilíndricas

Una visión para dimensionar la problemática de los residuos comerciales y su recuperación en Mexicali

Karla Garduño Palomino[1], Sara Ojeda Benítez[2], Carolina Armijo de Vega[3],
[1]Estudiante de Doctorado del Programa Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería UABC [2]Investigadora del Instituto de Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California.
Mexicali, B.C. México
[3]Profesora-Investigadora de la Facultad de Ingeniería Ensenada UABC
kzahori@hotmail.com

Resumen

En la última década, la cantidad de desechos sólidos producidos por los seres humanos en su diario que hacer ha alcanzado niveles sin precedentes a nivel mundial, provocando estragos en el medio ambiente y en la calidad de vida de sus habitantes, es por esto que la mayoría de las economías desarrolladas y muchos países en vías de desarrollo persiguen el objetivo de mejorar su gestión de los residuos. En México la ley general para la prevención y gestión de los residuos, dispone la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos sólidos municipales, bajo los criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social. Sin embargo la carencia de datos confiables y sistemáticos sobre la generación de residuos sólidos de las diferentes fuentes generadoras que intervienen a nivel municipal es uno de los principales obstáculos para lograr un manejo y disposición adecuados de los residuos (Buenrostro, et al. 1999). Actualmente en Mexicali existen más de 12000 unidades económicas comerciales y de servicios, que generan un volumen de residuos incierto, que son enviados directamente a disposición final en el relleno sanitario de la ciudad. El objetivo de esta investigación es analizar la factibilidad de la ciudad de Mexicali para realizar de forma sustentable la recuperación y reciclaje de los residuos comerciales, y evaluar las tecnologías de reciclaje adecuadas para los residuos de mayor generación y demanda, que pudiesen ser implementadas.

Palabras Clave – Generación, residuos sólidos, residuos comerciales, comercios, sustentabilidad.

Abstract

In the last decade, the amount of solid waste produced by human beings in their daily activities have reached unprecedented levels worldwide, causing havoc on the environment and in the inhabitants life quality. That is why most of the developed economies and many developing countries pursue the objective of improving their waste management practices. In Mexico the general law for waste prevention and management, promotes the prevention, recovery and the integrated management of municipal solid waste under environmental, technological, economic and social efficiency criteria. However the lack of systematic and reliable data on the generation of solid waste from the different sources involved in the municipal solid waste stream is one of the main obstacles to achieve appropriate waste management and disposal. Currently in Mexicali there are more than 12000 commercial units that generate an uncertain volume of solid waste, which are sent directly to final disposal in the city landfill. This research seeks to analyze the feasibility for the recovery and recycling of commercial waste in a sustainable fashion, and to evaluate different recycling technologies that could be implemented.

Keywords – Generation, solid waste, commercial waste, commercial business, sustainability.

I. INTRODUCCIÓN

En el pasado en México el manejo de los RSM se había considerado como una responsabilidad únicamente gubernamental, quedando rezagada de los avances técnicos y administrativos que se fueron desarrollando en el mundo. Este rezago repercutió en la eficiencia del manejo integral de los residuos ya que todos los esfuerzos realizados fueron encaminados principalmente a la recolección dejando de lado los sistemas de minimización, reuso, reciclaje y disposición final que muestran un gran atraso y

por ende representan un riesgo al ambiente (Instituto Nacional de Ecología ,2009). La infraestructura y los sistemas de manejo son sumamente precarios, dada la desproporción que guarda la cantidad creciente de los residuos sólidos municipales generados con las capacidades existentes de manejo, vigilancia y control, por lo que con frecuencia se observa una disposición clandestina en tiraderos, barrancas, derechos de vías en carreteras o cuerpos de agua (INE, 2009), situación de la que la ciudad de Mexicali no está exenta.

La ley general para la prevención y gestión de los residuos, dispone como una obligación compartida la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos sólidos municipales, bajo los criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social. Para ello se requiere como punto de partida un diagnóstico de la situación actual de la generación, composición y flujo de los residuos de las distintas fracciones que integran a los RSM, continuado por un análisis de las nuevas tecnologías disponibles para el manejo y reciclaje de los residuos y estudios de factibilidad para la implementación de un sistema de manejo integral de residuos que tome en cuenta los factores económicos, políticos y sociales de la localidad. Pero la carencia de datos confiables y sistemáticos sobre la generación de residuos sólidos de las diferentes fuentes generadoras que intervienen a nivel municipal es uno de los principales obstáculos para lograr un manejo y disposición adecuados de los residuos (Buenrostro, et al. 1999).

En Mexicali durante el último censo económico del 2004 existían cerca de 12000 unidades económicas comerciales y de servicios, que absorbían al 52% de la población ocupada. Se estima por los prestadores del servicio de recolección comercial, que estos establecimientos contribuyen con el 22% de los residuos sólidos municipales generados en la ciudad. Es por ello que esta investigación tiene como objetivo analizar la factibilidad de la ciudad de Mexicali para realizar de forma sustentable la recuperación y reciclaje de los residuos comerciales, y evaluar las tecnologías de reciclaje adecuadas para los residuos de mayor generación y demanda, que pudiesen ser implementadas.

Los resultados presentados en este trabajo corresponde al diagnostico preliminar de la generación y composición de los residuos comerciales. Se consideraron para este caso el análisis de los residuos provenientes de establecimientos comerciales y de servicio ubicados dentro del área urbana y que son recolectados por empresas privadas de recolección de residuos comerciales.

Situación actual de los residuos comerciales en Mexicali.

En Mexicali, se generan 1300 toneladas diarias de residuos sólidos, de los cuales 22% son comerciales, 67% domiciliarios y 11% industriales.

El sistema de manejo de residuos sólidos municipales de la ciudad consiste básicamente en el barrido de calles, recolección, trasferencia y disposición final. En menor grado se realiza la recuperación de reciclados tanto por el sector formal como por el sector informal. La recolección de los residuos se lleva a cabo básicamente por tres entidades, 1) el servicio de limpia del ayuntamiento de Mexicali quien se encarga de la recolección de los residuos generados en casas habitación y micro-negocios comerciales y de servicio como pequeños tiendas de abarrotes, peluquerías, negocios en casa, etc., 2) empresas privadas de recolección de residuos comerciales, quienes se encargan de los residuos generados en todo tipo de establecimiento comercial y de servicio público y/o privado de tamaño pequeño, mediano y grande y 3) empresas privadas de recolección de residuos industriales.

Las principales empresas que ofrecen el servicio de recolección de residuos comerciales son Pro-Rec, Sun Waste, Eco-Management y Red-Recolector. Estas compañías ofrecen sus servicios a cerca de 2000 negocios comerciales y de servicios, de los cuales 1100 son clientes de Pro-Rec y el resto se divide entre los demás prestadores del servicio.

Estas empresas incluyen dentro de la recolección comercial los residuos generados en establecimientos comerciales, de servicio e instituciones (escuelas y oficinas de gobierno).

En este estudio se realiza el análisis de los residuos manejados por la empresa Pro-Rec que difiere de las demás por tener la mayor infraestructura y ser la única con un centro de transferencia propio, llevar a cabo recuperación formal e informal de reciclables en sus instalaciones y en algunos establecimientos aunque aún de manera informal y como prueba piloto se lleva a cabo la recolección separada. El flujo de estos residuos se ilustra en la figura 1.

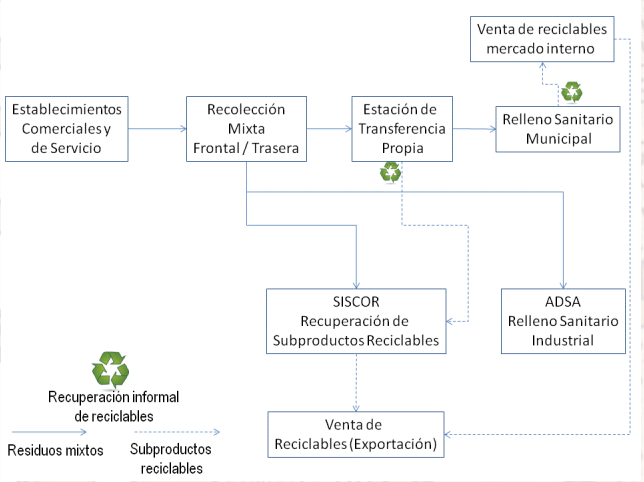


Figura 1. Flujo de los residuos comerciales

Los establecimientos comerciales y de servicio depositan los residuos generados en contenedores de 1.5, 2.25, 3, 4 y 6 m³, los cuales son proporcionados por la empresa que presta el servicio de recolección. Los residuos son recolectados con una frecuencia de uno a siete días a la semana según sea requerido, se utilizan camiones de carga frontal o de carga trasera con capacidad aproximada de 10 toneladas en los cuales se transportan los residuos 1) a la unidad de transferencia de la empresa para después ser transportados al basurero municipal o 2) al relleno sanitario industrial (ADSA) sin pasar por la unidad de transferencia. En la figura 2 se muestran gráficas de generación de residuos comerciales del 2005 al 2009 manejados por esta compañía.

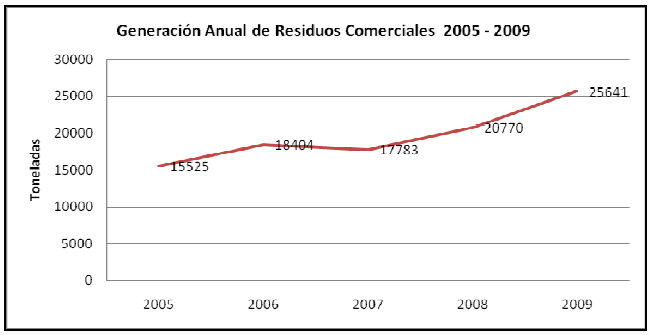


Figura 2. Generación anual de residuos comerciales 2005-2009 Pro-Rec

En la unidad de transferencia se realizan actividades de recuperación de reciclables de manera informal por un pequeño grupo de pepenadores que venden los reciclables recuperados a SISCOR una compañía filial de PRO-REC que realiza recuperación de subproductos reciclables del sector industrial y en menor grado del sector comercial para su venta al mercado nacional y exportación.

Como la unidad de transferencia se encuentra dentro de las instalaciones de SISCOR, algunas cargas seleccionadas por su bajo porcentaje de residuos orgánicos son llevadas directamente a SISCOR para la recuperación de algunos reciclables, los residuos pasan por una banda transportadora donde de forma manual se va segregando vidrio, plásticos (PET, HDPE, LDPE), aluminio, metales y cartón. Los residuos que no pueden ser recuperados pasan a la unidad de transferencia para ser llevados al sitio de disposición final.

II. MATERIALES Y METODO

Caracterización y cuantificación de subproductos

La investigación se realizó en la ciudad de Mexicali, para analizar el comportamiento de los residuos generados por el sector comercial se seleccionó la empresa más representativa que presta este servicio a los comercios en esta

ciudad, para ello se incluyó el criterio de selección de antigüedad prestando el servicio y la cobertura.

Esta empresa cuenta con seis rutas de recolección de residuos comerciales, cada ruta está conformada por aproximadamente 180 establecimientos comerciales, de servicio e instituciones a los que se les presta el servicio con distinta frecuencia, según las necesidades del establecimiento puede ser desde uno hasta siete días a la semana, y para llevar cabo la logística de servicio se elaboran sub-rutas de recolección por día en las cuales atienden de 55 a 100 clientes.

Para este estudio se cuantificaron y caracterizaron los residuos comerciales generados exclusivamente por establecimientos comerciales y de servicio, excluyendo los generados en instituciones públicas o privadas, para ello fue necesario seleccionar una sub-ruta de recolección que atendiera solo a este tipo de establecimientos.

El muestreo fue realizado en la unidad de transferencia de Pro-Rec. En la figura 3 se esquematizan los pasos de la metodología empleada.

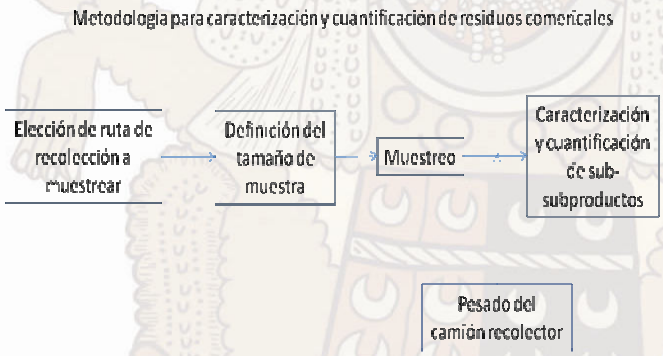


Figura 3. Metodología para caracterización y cuantificación de residuos comerciales

Se eligió como unidad de muestreo el camión recolector de 10 toneladas de capacidad, integrada por 63 establecimientos. Debido a las dificultades encontradas durante el trabajo de campo se decidió tomar muestra aleatoria de toda la carga, Para definir el tamaño de la muestra se consideró un muestreo aleatorio sin reemplazo de una población finita con un grado de confianza del 95% y un error de 0.04, con μ,σ y p desconocidas, con la ecuación 1:

$$n = Npq[Z\alpha/2]^2 / pq[Z\alpha/2]^2 + (N-1)E^2 \quad \text{Ec. (1)}$$

En donde:

n : Tamaño de muestra.
N : Tamaño de la población
p : Proporción de la población (cuando no se conoce se supone 0.5)
q : 1-p
E : Error

El muestreo se realizó en la unidad de transferencia de Pro-Rec. Se asignó y preparó un área, en la cual el camión depositó los residuos recolectados del día, después con la pala mecánica se distribuyeron los residuos de manera uniforme. En el muestreo se trabajo con el apoyo de estudiantes, para la selección y cuantificación de los subproductos a muestrear, se hicieron equipos de trabajo para obtener las muestras de los sub-productos por separado, siguiendo un patrón establecido en el cual se tomaban muestras de las orillas y del centro del área, rotando posiciones cada determinado tiempo. Los subproductos se depositaron en bolsas de plástico de 58.42cm x 119.38cm de calibre 1.5 mil, se pesaron y se registró este peso en una hoja de registro de campo para selección y cuantificación de subproductos como lo marca la NMX-022-1985. Se adecuo el formato de acuerdo al tipo de subproductos presentes en el flujo de los residuos comerciales, quedando como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Caracterización de sub-productos

Orgánicos	Inorgánicos
Restos de comida	PET
Residuos de jardín	HDPE
Restos de animales sin procesar y huesos	PVC
Periódicos, revistas, papel bond	LDPE
Papel encerado	Polipropileno PP
Papel plastificado	Poliestireno PS

Papel Tissue	Otros plásticos
Cartón corrugado	Aluminio
Cartón encerado	Metales
Textiles	Vidrio transparente
Madera	Vidrio de color
Otros residuos orgánicos	Toallas sanitarias y pañales
Tetrapak	Material de construcción
	Otros inorgánicos:
	Peligrosos:

Se determinó el peso volumétrico de los residuos y de los sub-productos de acuerdo a NMX-AA-019-1985. El porcentaje en peso de cada uno de los sub-productos se obtuvo en base a NMX-AA-022-1985 con la siguiente fórmula:

PS = (G1 / G) x 100

En donde:
PS : Porcentaje del subproducto considerado.
G1 : Peso del subproducto considerado, en kg. descontando el peso de la bolsa empleada.
G : Peso total de la muestra .

III. RESULTADOS Y DISCUCION

Los resultados de la cuantificación de residuos comerciales muestreados se presentan en este apartado.

El peso total de los residuos comerciales de la muestra fue de 9750 kg, por lo que el tamaño de la muestra se determinó en 570 kg, el peso volumétrico promedio determinado in situ fue de 126.27kg/m³. El porcentaje en peso de la categorización de sub-productos se muestra en la tabla 2.

Agrupando las fracciones de residuos en orgánicos e inorgánicos tenemos el 46.83% de residuos orgánicos y 53.16% a residuos inorgánicos Figura 4.

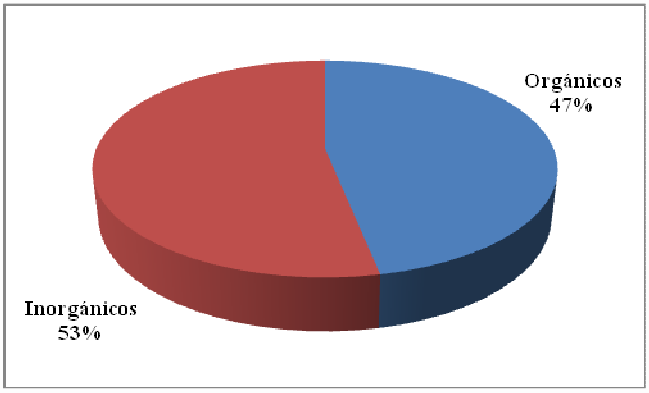


Figura 4. Porcentaje de residuos comerciales orgánicos e inorgánicos encontrados en la muestra

Categorizando los principales subproductos encontrados en la muestra tenemos que los restos de comida, residuos de jardín y madera equivalen al 27.96% del peso total, papel y cartón al 18.75%, material de construcción al 17.95%, plásticos al 17.41%, vidrio de todo tipo al 5.77%, metales y aluminio al 1.65 y los demás residuos inorgánicos al 10.40% que incluyen residuos peligrosos, toallas sanitarias y pañales, partes de automóviles, cables, empaques de comida y otros. En la figura 5 se muestran los porcentajes en peso de los subproductos agrupados en las siete categorías principales.

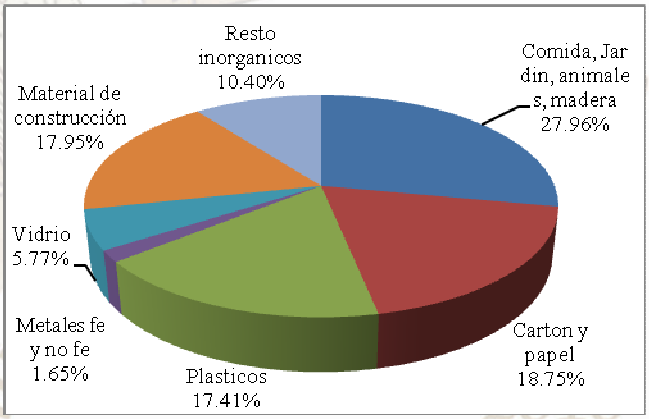


Figura 5. Porcentaje en peso de subproductos agrupados por categorías

Tabla 2. Porcentaje en peso de la caracterización de los productos encontrados en la muestra

Tipo de residuos	Porcentaje	Tipo de residuos	Porcentaje
Restos de comida	12.88%	(1) PET	3.57%
Residuos de jardín	9.23%	(2) HDPE	1.15%
Restos de animales sin procesar y huesos	3.55%	(3) PVC	0.37%
Periódicos, revistas, papel bond	4.27%	(4) LDPE	4.87%
Papel Tissue	2.29%	(5) Polipropileno PP	0.37%
Papel encerado	1.02%	(6) Poliestireno PS	5.00%
Papel plastificado	0.22%	(7) Otros plásticos	2.08%
Cartón corrugado	8.64%	Aluminio	0.55%
Cartón encerado	2.31%	Metales	1.10%
Textiles	0.00%	Vidrio transparente	4.40%
Madera	2.30%	Vidrio de color	1.37%
Otros residuos orgánicos	0.00%	Toallas sanitarias y pañales	2.97%
Tetrapak	0.11%	Material de construcción	17.95%
Empaques de papitas, galletas y dulces	0.17%	Otros inorgánicos	7.17%
		Peligrosos:	0.08%

Del total de residuos plásticos el de mayor generación fue el Poliestireno PP aportando el 29% el PP se encontró en forma de material de empaque, platos, vasos y recipientes de comida, le sigue el Polietileno de baja densidad LDPE con el 28% (bolsas de plástico, película plástica y todo tipo de plástico flexible) y el PET con 20%. La figura 6 muestra los porcentajes en peso con relación al total de residuos plásticos encontrados en la muestra.

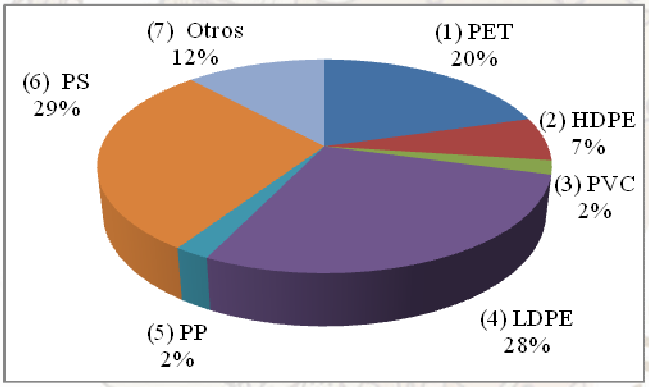


Figura 6. Composición sub-productos plásticos

IV. CONCLUSIONES

Se estima que el 22% de las 1300 toneladas de basura reportadas por el municipio son residuos comerciales, sin embargo dentro de ésta estimación se encuentran incluidos los residuos de instituciones y excluidos residuos comerciales que no tienen contrato con las compañías particulares de recolección comercial. Así que en realidad no se conoce con certeza los residuos generados por este sector.

El manejo de los residuos comerciales actualmente no es un manejo integral ya que sólo se limita a la recolección, transferencia y disposición final en el relleno sanitario y/o en el relleno industrial, la recuperación de subproductos reciclables del sector comercial es totalmente informal y no se cuenta con información de la cantidad recuperada. Tampoco existen en la ciudad plantas de tratamiento y aprovechamiento de la materia orgánica.

Se encontró que los residuos de material de construcción fueron los de mayor generación con un 17.95% del peso total de la muestra, sin embargo es atribuible al fenómeno sísmico sufrido en la ciudad dos semanas antes de ser realizado el muestreo, que modifico las actividades normales de la ciudad, por la remoción de escombros y reconstrucción de sitios dañados que aún persisten en la ciudad..

Los residuos de comida, jardines y restos de animales aportaron el 25.66% del total de la muestra, este tipo de residuos por su naturaleza contaminan en gran medida al restos de los residuos con potencial de reciclaje, por lo que la separación de los residuos en bolsas separadas orgánicos e inorgánicos aun cuando la recolección fuese mixta, contribuiría al aumento de la recuperación de reciclables.

Los residuos cartón y papel contribuyeron con el 18.75% y el plástico con el 17.41, este tipo de residuos por lo general es recuperado por los pepenadores, sin embargo mucho de este material se encuentra contaminado por residuos de materia orgánica (comida, restos de jardín y animales), lo que dificulta su recuperación y reciclaje, y gran parte se va directo al relleno sanitario.

De los residuos plásticos el PET, HDPE y PS son los de mayor generación y potencial de reciclaje. El PET y el HDPE son recuperados en actividades de pepena y vendidos SISCOR, pero el PS no es recuperado a pesar de ser un material reciclable.

Los resultados del muestreo de primavera nos dan indicio del comportamiento de los residuos comerciales, aun cuando la situación actual de la ciudad ha influido en los resultados, y por lo cual el muestreo deberá ser repetido. Esta información se complementará con los muestreos de verano, otoño e invierno, además de datos históricos de generación proporcionados por la empresa prestadora del servicio de recolección.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación es financiada por CONACYT y es parte del proyecto doctoral del primer autor. Se agradece a Roberto Bandrés (Pro-Rec) y a su equipo de trabajo por el apoyo para realizar esta investigación en sus instalaciones.

REFERENCIAS

Buenrosto, O., Bernache, G., Cram, S. y Bocco, G. (1999). Análisis de la generación de residuos en los mercados municipales de Morelia, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 15, 27-32

Catálogo de Normas Mexicanas. (2009). NMX-019-1985. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales- Peso Volumétrico in situ. Disponible en: http://normas.economia.gob.mx/normasmx/index.nmx

Catálogo de Normas Mexicanas. (2009). NMX-022-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos. Disponible en: http://normas.economia.gob.mx/normasmx/index.nmx

Instituto nacional de ecología. (2009). www.ine.gob.mx

INEGI. (2009). Censo económico 2004. Resultados sectoriales de los censos económicos 2004. Disponible en: www.inegi.org.mx

Secretaría de protección al ambiente del gobierno del estado de baja california. (2008)., Diagnóstico ambiental, Valle de Mexicali, Contaminación de suelo. http://www.bajacalifornia.gob.mx/spa/problematica/mexicali_valle.html

SEMARNAT (2009). Ley General para la Prevención y Gestión de Residuos Sólidos, 2003. Ultima reforma publicada 2007. Disponible en: www.semarnat.gob.

3er *Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos*

9, 10 y 11 Junio, 2010

3er encuentro de expertos en

9, 10 y 11 Junio 2010

RESIDUOS SÓLIDOS

10ª SEMANA DEL AMBIENTE

11° FORO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Determinación de perfiles para el diseño de productos reciclables

Miguel Angel López Ontiveros, Brenda Bravo Díaz, Sergio López Sanjuán, Juan A. Chávez Martínez
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
México, DF, México
email: mlopez@correo.azc.uam.mx, bdb@correo.azc.uam.mx

Resumen

Desde hace varios años los mercados de todo el mundo han estado tomando un rumbo diferente y exigen a los fabricantes no solo productos competitivos sino que sus procesos de fabricación sean sustentables, esto ha llevado al desarrollo de estrategias de fin de vida en los cuales se busca disminuir el impacto ambiental. Entre estas estrategias de fin de vida se encuentra el reciclado de los productos, el cual implica la recuperación de materiales para la fabricación de productos nuevos [5]. Cuando los fabricantes deciden por el reciclado como estrategia de fin de vida de sus productos, estos deben modificar ciertas características del diseño de los productos con el fin de que la recuperación de los materiales se facilite en lo posible [1].

El presente trabajo describe el desarrollo de perfiles para el diseño productos reciclables. Un Perfil de Producto Reciclable es un conjunto de factores internos y externos que un producto debe poseer para considerarlo como un producto diseñado para el reciclado. Se determinaron un total de 12 perfiles de producto, los perfiles están integrados por 34 criterios, conformados por 5 criterios fijos los cuales deben de ser satisfechos por cualquier producto, 12 criterios internos que contemplan el proceso de reciclado y 17 criterios externos que responden a aspectos externos al proceso de reciclado. Para la determinación de los criterios se analizaron 20 productos que son exitosamente reciclados en la industria mexicana.

Palabras Clave – Reciclado, Eco-diseño, Perfil de Producto Reciclable.

Abstract

This For several years the markets around the world have been taking a different direction and require manufacturers not only competitive products but that their manufacturing processes are sustainable, this has led to the development of strategies to end of life which seeks to reduce the environmental impact. Among the strategies of end of life we have recycling of products which involves the recovery of materials to manufacture new products. When manufacturers decide by recycling as an end of life product strategy, they should modify certain features of the design of products with a view to recovering the materials provided as far as possible.

This research describes the development of profiles for recyclable product design. A Product Recyclable Profile is a set of internal and external factors that a product must have to consider it as a product designed for recycling. Identified a total of 12 product profiles, profiles are integrated by 34 criteria, consisting of 5 fixed criteria which must be satisfied by any product, 12 internal criteria covering the process of recycling and 17 external criteria that respond to external recycling aspects. For the determination of the criteria, it analyzed 20 products that successfully are recycled in the Mexican industry.

Keywords – Recycling, Eco-Design, Product Recyclabe Profile

I. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los productos que se consumen en la sociedad tienen un fin incierto al final de su ciclo de vida, debido a que no siempre se tiene definida una estrategia para que estos sean tratados mediante estrategias como el reciclado, la remanufactura o la incineración.

El reciclado se puede definir como la acción de regresar al ciclo de consumo los materiales que ya fueron desechados, y que son aptos para elabo-

rar otros productos al pasar estos por un proceso industrial que los vuelva materia prima aprovechable [2] [3].

Dependiendo de las características de los productos a reciclar como: los materiales con los que están fabricados, el alto valor económico de algunos de sus componentes, los riesgos sobre la salud pública que implica su manejo, disponibilidad o facilidad para recuperar los materiales, regulaciones ambientales etc. Actualmente existen diversos tipos de proceso de reciclado aunque de manera general este proceso consta de las siguientes etapas (Vea Figura 1):

1.- Recolección.
2.- Selección o separación de materiales.
3.-Procesamiento o acondicionamiento de materiales.
4.- Reinserción a una cadena productiva.

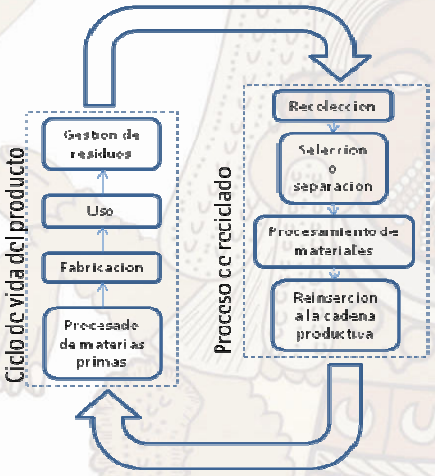


Figura 1. Proceso de reciclado.

Uno de los principales problemas en el proceso de reciclado de productos es la recuperación de los materiales después de ser recolectados [5]. La mayoría de productos son diseñados para su fabricación, a un bajo costo y en ciertas ocasiones respondiendo a legislaciones ambientales pero esto no implica que si se decide reciclarlo, su recuperación sea sencilla o barata, por el contrario, muchas veces por hacer un diseño más funcional, la recuperación de los componentes y elementos del producto se complica [6], pues el producto originalmente no esta diseñado para ser reciclado

Cuando un fabricante se decide por el reciclado como estrategia de fin de vida para sus productos, este debe modificar ciertas características del diseño del producto con el fin de que la recuperación de los materiales se facilite en lo posible, esto implica que el producto contará con más restricciones para su diseño las cuales deben ser consideradas para el proceso de fabricación [7].

Entre estas restricciones se pueden mencionar los tipos de materiales a utilizar, un diseño modular que pueda facilitar en mucho el proceso de separación de componentes sin necesidad de procesar el producto totalmente.

El considerar un producto para ser reciclado debe llevar un cambio de enfoque de los fabricantes y por lo tanto la forma de concebir a los productos deberá incluir además de: funcionalidad, calidad y precio; la facilidad para su reciclado [8].

II. MATERIALES Y METODOS

1.2 Caracterización de productos reciclados

Un producto que puede ser reciclado debe cumplir con ciertos criterios o parámetros que faciliten su proceso de transformación.

Un criterio significativo es un parámetro que ayuda a determinar la viabilidad del reciclado de un producto especifico, basándose en un rango numérico que debe de ser cubierto por el producto o bien por el hecho de que cuente o no con dicha característica.

Para la caracterización de los productos reciclados se realizo un análisis bibliográfico con el objetivo de obtener un número importante de criterios significativos de reciclado que expliquen dicho proceso. Se analizaron estudios de casos de productos utilizados en la vida diaria, como: artículos personales, electrodomésticos, etc.

Los resultados obtenidos arrojaron *64 criterios generales* que se separan en primer término por dos perspectivas: La primera de ellas con un pun-

to de vista externo al producto, es decir a su entorno y un segundo punto de vista que es el interno referido a su proceso de reciclado

1.3 Criterios internos

Son considerados como criterios internos aquellos factores que son características intrínsecas del producto o su proceso productivo y que además influyen de una manera muy importante en su desarrollo y diseño. Los criterios internos se refieren principalmente a los procesos de transformación de los materiales y todos lo parámetros que esta transformación involucra y la arquitectura del producto que se va a reciclar, refiriéndose al numero de componentes y acomodo de los mismos dentro del producto (Vea Figura 2).

Del análisis bibliográfico y de estudios de casos se obtuvieron 22 criterios internos y se propuso agruparlos en tres grupos: *Proceso de reciclado del producto, proceso de recuperación y estructura del producto*

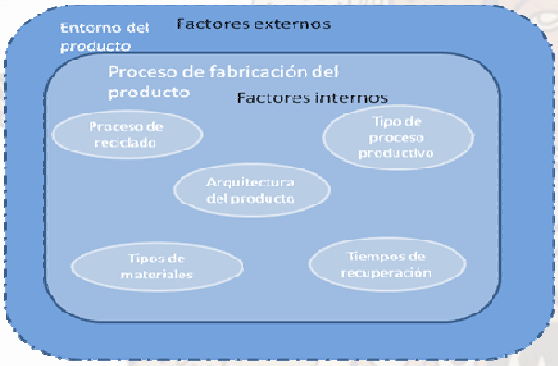


Figura 2. Factores internos de productos reciclados

1.4 Criterios externos

Los criterios externos son aquellos factores que no son características intrínsecas del producto o de su proceso productivo pero que influyen de una manera muy importante en su desarrollo. Los criterios externos se refieren principalmente a tendencias comerciales y cuestiones tanto tecnológicas como sociales que afectan la aceptación y éxito de un producto y por lo tanto determinan las características que deberá tener para poder sobrevivir en el mercado (Vea Figura3).



Figura 3. Factores externos de productos reciclados

Del análisis inicial se obtuvieron 42 criterios externos y se propuso agruparlos en cinco grupos: *Logística, aspectos económicos, mercado, tecnología del producto*

1.5 Aplicación del Análisis de Componentes Principales a 20 productos reciclados

Con los 22 criterios internos y los 42 criterios se procedió a determinar cuales son los criterios significativos que determina a un producto reciclable. Los criterios se aplicaron en 20 productos diferentes que se reciclan, con el propósito de poder establecer relaciones entre los criterios encontrados y las diferentes formas de reciclaje que presentan estos productos para finalmente determinar perfiles de reciclado. Debido a la diversidad de productos y a los diferentes valores que se obtuvieron, se optó por organizar los valores en rangos para poder interpretar de mejor manera la información.

Los productos que se utilizaron para este estudio fueron los siguientes: *Llantas, papel plástico, vidrio, autos, televisor, hierro, celulares, batería, aluminio, CPU, lavadoras, estufas, pallets, tóner, microondas, refrigeradores, reproductores de DVD, cargador de celular y CDs.*

Con los resultados del estudio a los 20 productos, se procedió a aplicar un Análisis de Componentes Principales (ACP) a los criterios utilizando sus valores y realizando un análisis independiente para los criterios externos y los internos; con el fin de disminuir el número de criterios utilizados, dejando sólo los criterios que describen verdaderamente a un producto reciclado y pudiendo iden-

tificar por medio de esta técnica a los criterios poco significativos o redundantes.

Para aplicar el ACP a los criterios, se utilizó el paquete estadístico StatGraphics con el cual introduciendo las diferentes variables y sus valores en una matriz, nos arroja los valores de las combinaciones lineales de estas variables y nos permite identificar variables poco importantes o redundantes.

II. RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de componentes principales realizado con el conjunto de criterios arroja como resultado la discriminación de criterios no relevantes en el estudio pero además la formación grupos de productos debido a similitudes en sus características internas y externas; quedando al final del análisis un total de 34 criterios 22 externos y 21 internos. Con estos criterios se agruparon los productos desde un punto de vista interno y externo,

Los grupos de productos tanto por criterios internos como externos se obtuvieron al emparejar a las diferentes componentes resultantes del ACP en gráficas y observar cómo se distribuían los productos en las mismas.

2.1 Determinación de Grupos con Criterios Internos

Para los criterios internos se determinaron los grupos arrojados por la comparación de las componentes C2 y C3.A partir de estos componentes los productos se agruparon en 5 grupos (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Agrupación de productos por criterios internos.

C2 vs C3					
G1	G2	G3	G4	G5	G6
Aluminio	Refrigerador	Televiso	Microondas	Cd	Auto
Papel	Lavadora	Celular	rep dvd		
Vodrio	Cpu	Toner	Batería		
Plastico	Estufa		Cargador		
Pallet			Llanta		
Hierro					

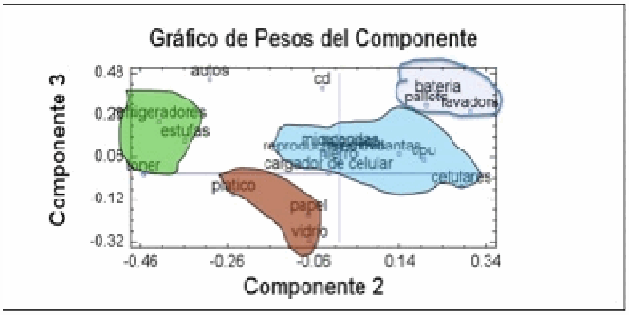


Figura 4. C2 vs C3 para criterios internos

2.2 Determinación Grupos con Criterios Externos

Para el caso de los criterios externos se decidió utilizar la combinación de las componentes C2 y C3 debido a la claridad y coherencia de los datos con la agrupación en la figura (Ver figura 5)

Tabla 2. Agrupación de productos por criterios externos.

C2 vs. C3					
G1	G2	G3	G4	G5	G6
Cd	Batería	Papel	Llantas	estufa	Auto
	Lavadora	Plástico	Televisor	toner	
	Pallet	Vidrio	Hierro	refrigerador	
			Celular		
			Aluminio		
			Cpu		
			Cargador		
			rep dvd		

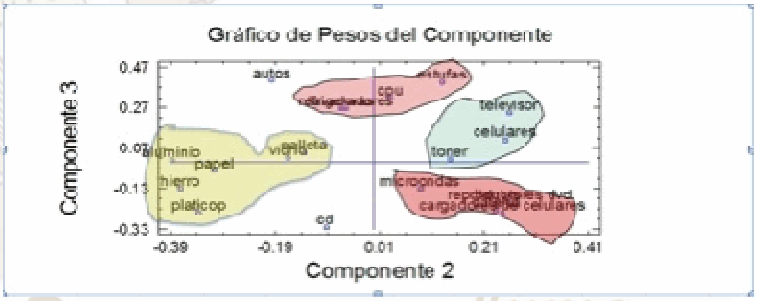


Figura 5. C2 vs C3 para criterios externo

2.3 Definición de Perfiles de Productos Reciclables

Un Perfil de Producto Reciclable es un conjunto de factores internos y externos que un producto debe poseer para considerarlo como un producto diseñado para el reciclado [4]. Un perfil de producto esta conformado por un conjunto de criterios que evalúan las características extrínsecas e intrínsecas del producto objeto de análisis, cada criterio se encarga de medir el grado en el que el producto cumple con una característica particu-

lar por ejemplo: el numero de veces que puede ser reciclado o el % de material que se puede recuperar del mismo en el proceso de reciclado; por lo que además cada criterio tiene una escala y unidades particulares

La integración de los perfiles se realizó combinando los grupos formados por criterios externos e internos según aparecieran los productos repartidos en los mismos. Un perfil se integro de los criterios externos del grupo en el que se encontraba el producto o productos en la columna izquierda y los criterios internos del grupo en el que se encontrara el mismo producto o productos en la columna derecha. La unión de los criterios externos e internos se realizo debido a que debe de abarcar los aspectos extrínsecos e intrínsecos del producto analizado (Ver figura 6)

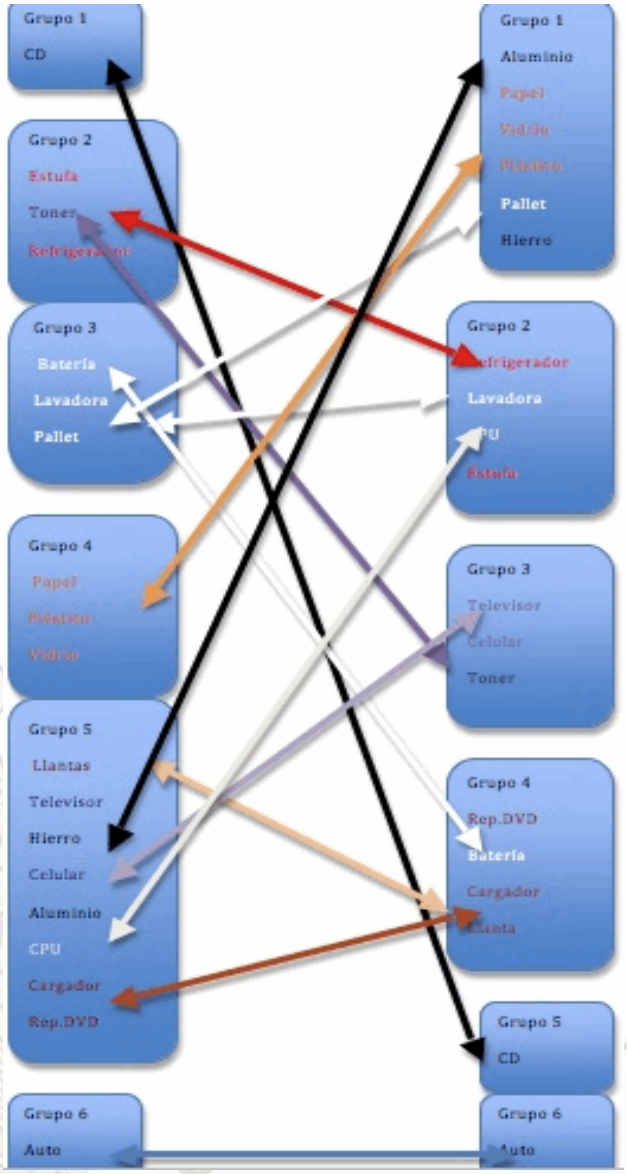


Figura 6. Procedimiento para la creación de Perfiles de Productos Reciclables

Con las relaciones establecidas entre las dos columnas se formaron 12 perfiles de productos los cuales se muestran a continuación (Vea Tabla3)

Tabla 3. Perfiles de Productos Reciclables

	CRITERIO	UNIDADES	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL3	PERFIL 4
Criterios Externos	*Nº de intermediarios*	#	***Regular(2-5)***	***Regular(2-5)***	Regular(2-5)	Regular(2-5)
	Facilidad para recuperar el Material	-	Dificultad Media(Se esta sujeto a variabilidad en la disponibilidad del material)	Dificultad Media(Se esta sujeto a variabilidad en la disponibilidad del material)	***Baja dificultad(Se puede obtener el material en fuentes constantes y confiables)***	***Dificultad Media(Se esta sujeto a variabilidad en la disponibilidad del material)***
	Agente de recolección	-	***- Privado***	***Privado***	Mixto	- Mixto
	Costo de la mezcla de material virgen y reciclado	%	20-30%(costo normal)	40-50%(costo elevado)	Menos de 20%(ideal por el bajo costo)	Menos de 20%(ideal por el bajo costo)
	Beneficios del reciclado en el ambiente	%	Reduccion del desperdicio medio(mas del 50%eliminado)	Reduccion del desperdicio medio(mas del 50%eliminado)	Reduccion del desperdicio medio(mas del 50%eliminado)	***Reduccion del desperdicio medio(mas del 50%eliminado)***
	Impacto ambiental del reciclado	-	Bajo (Sin repercusiones al ambiente)	Bajo (Sin repercusiones al ambiente) menos de 1000 tons/mes	Medio(Contaminación manejable)	bajo- medio
	Toxicidad del producto a reciclar	-	Baja toxicidad	Mediana toxicidad (Pesticidas, residuos de filtración y limpieza, residuos inflamables)	no toxico	Alta toxicidad (Ácidos, Reactivos, Residuos de cianuro y plomo)
	Incentivos económicos del gobierno	-	No	No	no	No
	Sector de Aplicación del Producto reciclado	-	Sector eléctrico y de comunicaciones	Sector eléctrico, comunicaciones y embalaje	Sector de Embalaje Uso General(utensilios)	Sector eléctrico y de comunicaciones
	Nivel de competencia	#	***Bajo (1 - 2)***	***Bajo (1 - 2)***	Alto (10 – mas)	Alto (10 – mas)
	Disponibilidad de la materia a reciclar en el mercado	#	Bueno(5-9)	Bueno(5-9)	Excelente(mas de 10 años)	Excelente(mas de 10 años)
	Aceptación del producto reciclado por los consumidores	-	Regular(no les molesta usarlo pero lo preferirían de material virgen)	Regular(no les molesta usarlo pero lo preferirían de material virgen)	Buena(no existe inconveniente)	***Regular(no les molesta usarlo pero lo preferirían de material virgen)***
	Flujo del producto	#	Alto (> 10000)	Bajo <10000	***Alto (> 10000)***	Alto (>10000)
	Demanda del material en el mercado	#	- Alta (1 000 o mayor)	- Baja (<1 000)	***- Alta (1 000 o mayor)***	- Alta (1 000 o mayor)
	Profundidad de la familia de productos	#	Baja (1 – 3)	(1 – 10)	Baja (1 – 3)	Media (4 – 10)
	Disponibilidad de repuestos	-	Alta	Alta	alta	Media (4 – 10)
Criterios Internos	*Tecnología del proceso de reciclado*	-	Bajo(métodos y maquinaria tradicional)	Bajo(métodos y maquinaria tradicional)	Alto(tecnología de Punta)	Alto(tecnología de Punta)
	Tipo de reciclaje	-	Cerrado	Abierto	Abierto	Abierto
	Tipo de prueba que se le realizan al material	-	***Físicas***	Físicas	Químicas	Físicas/qquimicas
	Tiempo de desmontaje	%	Medio (40 – 70)	(0 – 69)	na	Bajo(0 – 39)
	Tiempo de recuperación	*Años*	Corto plazo (0 - 1)	Mediano plazo (2 - 7)	Mediano plazo (2 - 7)	Mediano plazo (2 - 7)
	Tipo de residuos	-	***Sólidos (virutas, agentes extraños)***	Líquidos (Desengrasantes, aditivos, otros lodos residuales)	***Sólidos (virutas, agentes extraños)***	Sólidos (virutas, agentes extraños)

	CRITERIO	UNIDADES	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL3	PERFIL 4
Criterios Internos	Tipo de proceso productivo	-	Sencillo	Simple	**Complejo**	Simple
	Porcentaje de recuperación de desechos (Tasa de retorno)	#	**Medio (40 - 69)**	(1 a 11)	1	(0 a 11)
	Número de módulos	#	Modulación baja (1 a 10)	Modulación baja (1 a 10)	**1**	Modulación baja (1 a 10)
	Tipo de arquitectura del producto	-	Modular	**Modular**	No modular	**Modular**
	Tipos de conexiones en el producto	-	Presion	Atornillado	na	Soldado/atornillado
Criterios fijos deseables	Nivel de contaminación	%	30% MAX	30% MAX	30% MAX	30% MAX
	Calidad del producto vs. Otros productos similares	-	2:misma calidad	2:misma calidad	2:misma calidad	2:misma calidad
	Valor del material reciclado	%	Mucho Menor (< 80%)	Mucho Menor (< 80%)	Mucho Menor (< 80%)	Mucho Menor (< 80%)
	Pertenencia a una familia de productos	-	Si	Si	si	Si
	Etapa en el ciclo de vida del producto	-	Crecimiento (Madurez)	Madurez	Madurez	Madurez

2.4 Definición de Perfiles de Productos Reciclables

Los valores que se muestran en los perfiles así como las unidades de medición son características de cada criterio y describen el grado en el que el producto debe de cumplir con dicho criterio.

Estos perfiles muestran entonces los criterios internos y externos deseables que deben poseer los productos que serán. Un perfil se integra por tres tipos de criterios (Vea tabla3)

1.- Criterios fijos los cuales son determinantes ya que de estos de depende el éxito del proceso de reciclado; por lo que producto sometido a estos perfiles debe de cumplir un cierto nivel en el rango de valor de estos criterios. Marcados en rosa)

2.- Criterios característicos. Estos criterios son los que diferencian a un perfil del otro marcando la tendencia del mismo dependiendo del tipo de producto o material que se este manejando; el producto sometido a los perfiles debe de entrar en el rango de valor de estos criterios. Son los criterios marcados con el color amarillo

3.- Criterios deseables. Este tipo de criterios son un poco mas flexibles que los anteriores debido a que no es imperativamente necesario que el producto entre en el rango de valor de todos estos criterios; , estos criterios miden mas características externas que internas del producto. Marcados en color blanco

IV. CONCLUSIONES

El desarrollo de estos perfiles para productos reciclados es una primera guía para el desarrollo de nuevos productos o un rediseño de productos ya existentes que necesitan ser modificados para adaptarse a las nuevas condiciones del mercado pensando en el reciclado como estrategia de fin de vida.

Un perfil permite evaluar los aspectos internos y externos del producto mediante variables comúnmente medibles y que son importantes desde el origen, proceso de producción, vida útil y destino final del producto.

La aplicación de estos perfiles a los productos se debe hacer considerando que los criterios manejados se deben tomar como los más deseables o ideales ya que no siempre se pueden cubrir todos los aspectos, pero al considerar la mayoría de ellos, se puede asegurar que los productos cumplirán con las expectativas para ser reciclados de una manera adecuada y con el menor impacto ambiental posible

La selección adecuada del perfil para un producto determinado se hace con base al número de criterios que el producto satisfaga, para esto, se obtiene el porcentaje de los criterios evaluados que son satisfechos por dicho producto. El perfil que obtenga el mayor porcentaje de criterios satisfechos es el perfil seleccionado para dicho producto

VI. REFERENCIAS

[1] Hata, T., A Method for Life Cycle Design to Improve Service Quality Management, Thesis, the University of Tokyo, 2002

[2] Henderson J. (Ed.), "Sustainability Reporting Guidelines 2002", Global Reporting Initiative, Boston, 2002.

[3] Jahau Lewis Chen, "Some Observations on Recycling of Electrical Home Appliance Activities in Taiwan", IEEE, 2001

[4] Lopez-Ontiveros M. A. Zwolinski P. Brissaud D. Integrated design of remanufacturable products based on product profiles. *Journal of Cleaner Production*, 2006

[5] Mathieux F. Contribution a l'integration de la valorisation en fin de vie des la conception d'un produit. Une methode basee sur l'evaluation multicriteres de la recyclabilite du produit et sur l'identication de ces points faibles de conception PhD thesis, ENSAM - Chambery, 2002

[6] Stevens A. "Integration of EcoDesign into Business, A New Challenge", Proceedings of Ecodesign'99, 1-3 February, 1999, pp. 27-32.

[7] Thierry Bussien, Le recyclage des CD?, Projet STS Ecole Polytechnique Fédéral de Lausanne, 2005

[8] Tim Denne, Reuven Irvine, Nikhik Atreya, Mark Robinson, "Recycling: Cost Benefit Analysis" COVEC 2007

3er encuentro de expertos en
9, 10 y 11 Junio 2010
RESIDUOS SÓLIDOS

Proceso hidrometalúrgico para recuperar y reciclar cinc, manganeso y carbón de pilas cilíndricas.

Ma. Neftalí Rojas-Valencia, Guadalupe Urquiza Moreno y Cristian Ríos Martínez

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, Coordinación de Ingeniería Ambiental. Edificio 5, 1er Nivel, Cubículo 214. Circuito Escolar S/N. Ciudad Universitaria C. P. 04510 Delegación. Coyoacán México D. F. México Tel. (52) (55) 56-23-36-00 Ext. 8663, Fax. (52) (55) 56-16-21-64.

e-mail: nrov@pumas.iingen.unam.mx

Resumen

El reciclaje de baterías puede provocar daños a la salud y al ambiente, debido a los componentes tóxicos que terminan en suelo y agua. En México sólo existe una planta de reciclaje de pilas. Este estudio buscó un método del tratamiento viable y se aplicó una ruta del hidrometalúrgica sobre una pirometalúrgica debido en primera instancia al costo elevado de la segunda ruta. El método hidrometalúrgico, se ha aplicado para extraer diferentes tipos de metales tóxicos en cantidades pequeñas, sin embargo en este estudio se analizan los efectos en los metales cinc y manganeso, porque éstos (más el carbono) constituyen la mayor parte de una pila alcalina, y la comercialización podría reducir los costos globales de la extracción. Se comparó la eficiencia de extracción del ácido sulfúrico y el ácido nítrico, en primera instancia se usaron solos y luego combinados con peróxido de hidrógeno como el catalizador e hidróxido de potasio como electrólito. Para la disolución de zinc, el ácido nítrico resultó ser un mejor reactivo, pues, en una solución al 3.0% v/v, extrajo el 94%, mientras el ácido sulfúrico sólo extrajo al 86%. El ácido nítrico más el peróxido de hidrógeno e hidróxido de potasio produjo rendimientos del 99% de cinc, lo mismo se observo para el manganeso. El reciclaje vía una ruta hidrometalúrgica no solamente es considerablemente más barato (USD 2 por 1 kg) y si no que también más rápido (se obtienen resultados en 20 minutos) y permite recuperación de 95% de dichos metales.

Palabras Clave – Hidrometalurgía, reciclaje, baterías, pilas alcalinas, cinc, manganeso.

Abstract

Failure to recycle waste batteries is hazardous to human health and the environment, because of the toxic components ending up in soil and water. Mexico is facing this problem because the country's only battery treatment plant cannot handle the volume of battery waste generated. This Study therefore sought a viable treatment method preferring a hydrometallurgical route over pyrometallurgy because of cost. Hydrometallurgy has been used previously to extract other metals toxic in smaller quantities, but these authors studied its effects on zinc and manganese because these (plus carbon) constitute the greater part of an alkaline battery, and commercialization could follow successful extraction thereby reducing overall costs. The efficiency of sulphuric acid and nitric acid were compared, using each first alone, then with hydrogen peroxide as catalyst and potassium hydroxide as electrolyte. Nitric acid proved better at dissolving zinc, because a 3.0% v/v solution produced 94% extraction, against 86% using sulphuric acid. Overall, nitric acid plus hydrogen peroxide and potassium hydroxide produced yields of up to 99% of original zinc, with enhanced manganese extraction also. Recycling via hydrometallurgy is thus cheaper (USD 2 per 1 kg), quick (producing results in 20 minutes) and allows recovery of up to 95% of these metals.

Keywords – Hydrometallurgical; Recycling; Batteries; Alkaline batteries; zinc; Manganese.

I. INTRODUCCIÓN

La mala disposición de las pilas usadas tiene como consecuencia diversos efectos negativos sobre la salud y el medio ambiente. La introducción de estos elementos a diversos ecosistemas ha tenido consecuencias devastadoras, y si no se detiene su mala disposición tienen el potencial de arrasar con especies enteras. En los últimos cincuenta años se han liberado al ambiente toneladas de estos componentes, y los estudios de consumo indican que esta situación empeorará con el tiempo debido al incremento en el uso de pilas portátiles. Los sistemas de confinamiento actuales son insuficientes y no permiten la reutilización de los materiales que constituyen a las pilas. Además, solamente se cuenta con programas de recolección basados únicamente en la conciencia social de los consumidores, que también se sabe es poca en la actualidad (Castro y Díaz, 2004).

Desde que se propagó el uso de baterías en México, a partir de los inicios de la década de 1960, éstas se han desechado en forma inapropiada; en el mejor de los casos van a dar a tiraderos municipales que cumplen con las especificaciones técnicas y en el peor de los casos, se tiran cerca de ecosistemas frágiles, cuerpos de agua o se emiten al aire sus componentes tóxicos a través de la quema de basura.

Actualmente, la planta localizada en Irapuato, propiedad de Sistemas de Tratamiento Ambiental S.A. de C.V. (SITRASA), es la única en Latinoamérica en dedicarse al tratamiento de baterías y/o pilas. SITRASA cuenta con todos los permisos necesarios para manejar y tratar a estos residuos en México, sin embargo no cuenta con ningún otro tipo de apoyo de parte del gobierno mexicano. La recolección de las pilas usadas se lleva a cabo como empresa privada, y ellos mismos salen a buscarlas a los generadores de este tipo de residuos como lo son escuelas, empresas y oficinas de gobierno.

La correcta disposición final, conforme los términos legales necesarios, únicamente puede realizarla una empresa ubicada en el estado de Nuevo León; en cuanto al transporte y tratamiento, en la página de SEMARNAT existe una lista de empresas autorizadas para ofrecer tales servicios. Desafortunadamente, el marco legal en la década de 1990 ha sido rígido para fomentar un manejo adecuado de pilas y baterías y propiciar el éxito de algunos programas propuestos, lo que finalmente ocasiona que el ciudadano preocupado por el destino de estos residuos termine desechándolas en cualquier lugar o, en el mejor de los casos, en la basura al no existir otras opciones prácticas.

En el ámbito mundial actualmente, se practican dos métodos principales para el reciclaje de pilas: a) los métodos hidrometalúrgicos y b) los métodos pirometalúrgicos.

a) El reciclaje mediante la hidrometalurgia consiste básicamente en el lixiviado ácido o básico del contenido de las pilas para contener a los metales en una solución. Este método se ha utilizado con éxito para reciclar baterías de otros tipos, pero en la actualidad no se utiliza para reciclar pilas alcalinas ni del tipo zinc-carbón (Bernardes, 2004).

b) Este tipo de proceso consiste esencialmente en recuperar materiales utilizando altas temperaturas. La pirometalurgía puede eliminar al mercurio contenido en las pilas de Zn-Mn. Después de la purificación de mercurio, el zinc se puede obtener mediante destilación.

Las altas temperaturas necesarias en procesos pirometalúrgicos, como el proceso Recytec, involucran gastos altísimos, de hasta 4080 USD/ton de pilas. Es posible disminuir este costo a 1445 USD/ton si se ingresan al proceso materiales totalmente libres de mercurio, pero se sabe que es poco realista garantizar una separación tan efecti-

va de las pilas según su tipo después de ser recolectadas (Wiaux, 1995).

La mala disposición resulta de la carencia de un método adecuado y funcional para reciclar pilas, así como de la falta de infraestructura para la recolección en México. De ese hecho nace la preocupación de identificar un procedimiento viable de reciclaje de pilas alcalinas, por lo que el objetivo de este trabajo fue: Identificar una metodología práctica y económica para recuperar los componentes químicos de las pilas en desuso que puedan ser reciclables y realizar pruebas para la recuperación de metales en laboratorio.

II. METODOLOGÍA

Los metales que se lixiviaron fueron el zinc y el manganeso, tanto por el alto contenido de los mismos en las pilas alcalinas y del tipo zinc-carbón como por su posible valor comercial. Los ácidos seleccionados para las pruebas fueron ácido nítrico (HNO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4).

El contenido de las pilas se separó manualmente en chatarra férrea, plástico y cartón. El resto se molió para obtener un polvo negro y homogéneo. El procedimiento consistió en dos lixiviaciones, una lixiviación neutra (con agua destilada) y una lixiviación ácida. El propósito de la lixiviación neutra fue disolver el hidróxido de potasio (KOH) presente en el interior de las pilas, que funciona como electrolito. La lixiviación ácida se llevó a cabo con un sólo ácido, y en algunos casos con peróxido de hidrógeno (H_2O_2), para determinar el efecto de éste sobre la solubilidad del manganeso y zinc.

El propósito de las lixiviaciones con H_2SO_4 fue determinar el tiempo de reacción necesario para obtener una extracción adecuada a las condiciones sugeridas por la literatura (Bueno *et al,* 2001, Bueno y Soares, 2004, Veloso, 2005). Estas condiciones se detallan en la figura 1.

Las reacciones llevadas a cabo con HNO_3 tuvieron como propósito determinar la concentración de ácido adecuada para obtener una extracción adecuada de los metales.

Después del lixiviado ácido se agregó el KOH proveniente del lixiviado neutro para llevar a cabo la precipitación de los metales.

Las concentraciones de zinc y manganeso en las soluciones se determinaron mediante absorción atómica.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la lixiviación con H_2SO_4, mostraron que la mayor parte de la extracción se lleva a cabo en el primer minuto.

Las figuras 1 y 2 muestran los resultados de las lixiviaciones con HNO_3 en diferentes concentraciones. Las reacciones se llevaron a cabo con y sin catalizador (H_2O_2). La figura 3 muestra que en el caso del manganeso, la reacción de lixiviación no se lleva a cabo satisfactoriamente sin la presencia de H_2O_2. Esto permitiría lixiviar al zinc selectivamente si se lleva a cabo la lixiviación sin peróxido. Posteriormente, el manganeso se puede extraer en otra solución que sí contenga al catalizador.

También se puede observar en la figura 1 y 2 que la concentración adecuada de HNO_3 para llevar a cabo el lixiviado es 3.0% v/v.

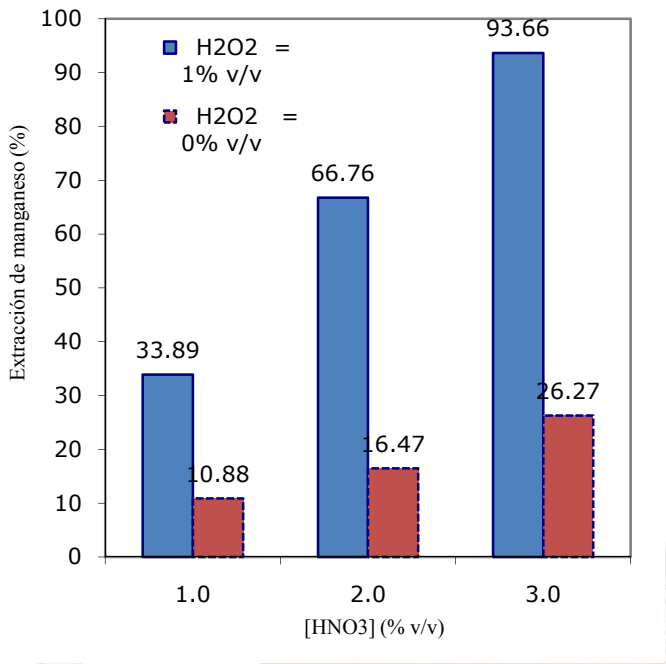


Figura 1. Influencia de la concentración de ácido en el porcentaje de manganeso extraído (T=20 °C, proporción sólido/líquido = 1/30, tiempo = 20 min.).

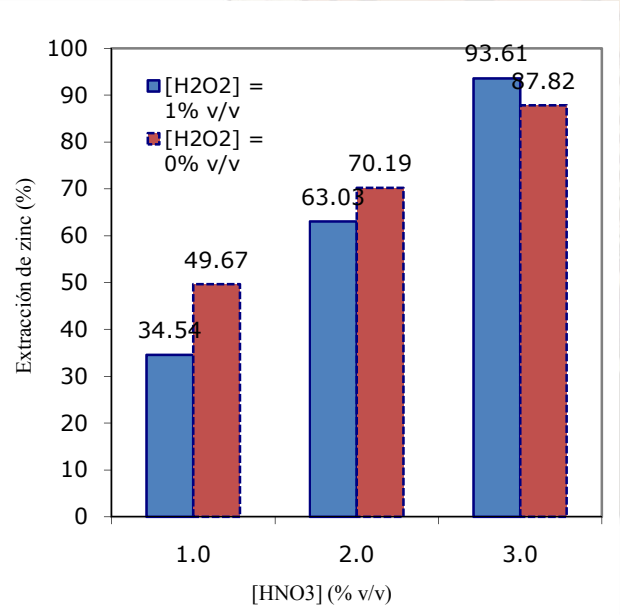


Figura 2. Influencia de la concentración de ácido en el porcentaje de zinc extraído (T=20 °C, proporción sólido/líquido = 1/30, tiempo = 20 min.).

Las figuras 3 y 4 muestran los resultados de los experimentos de precipitación. Se utilizaron las soluciones de HNO_3. Los porcentajes altos de recuperación demuestran que el KOH obtenido del lixiviado neutro sirve para llevar a cabo la precipitación. Sin embargo, la cantidad obtenida de esta solución alcalina fue suficiente para llevar a cabo la precipitación de sólo una muestra de la solución ácida. La cantidad de KOH obtenida por pila no es suficiente para llevar a cabo la precipitación de la solución ácida obtenida a partir de una pila.

En las mismas figuras se puede ver que la precipitación de ambos metales ocurrieron al mismo tiempo (7<pH<8), por lo que si se desea una recuperación de los metales por separado, se recomienda llevar a cabo un lixiviado selectivo (sin peróxido de hidrógeno) o utilizar un control de pH muy delicado.

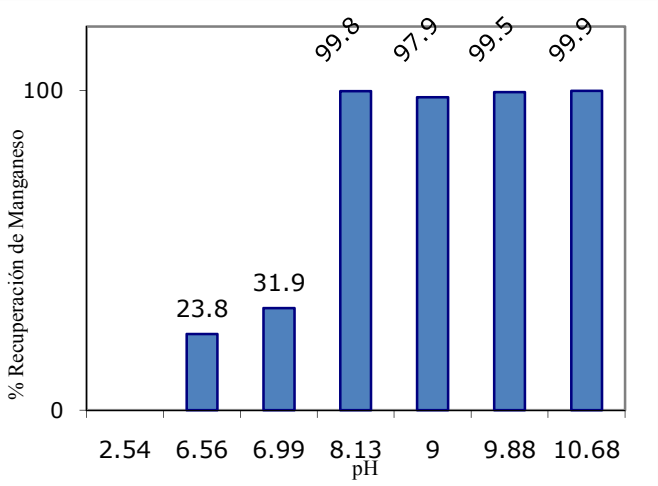


Figura 3. Recuperación de manganeso por precipitación.

En una ruta hidrometalúrgica, como la que se propone, el acero, papel y plásticos se pueden separar por medios mecánicos, y el resto de los componentes (carbón, manganeso, zinc, y trazas de otros metales) se pueden tratar por medio de lixiviación.

A diferencia de los procesos pirometalúrgicos, estos procesos implican la recuperación de zinc y manganeso en forma de compuestos químicos, y no como metales puros. El zinc se recupera en forma de hidróxido de zinc, que es un sólido blanco y cristalino, y se utiliza principalmente como absorbente en vendajes, en la manufactura de hule, y también para sintetizar otros químicos.

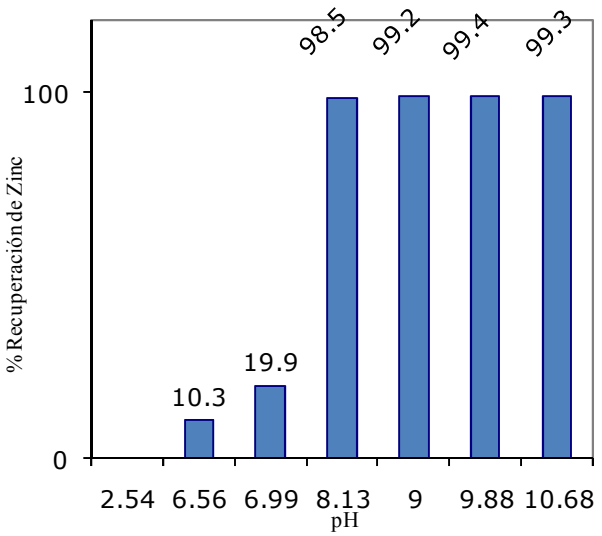


Figura 4. Recuperación de zinc por precipitación.

El manganeso se recupera como tetraóxido de manganeso, la misma forma química en la que lo contiene el mineral hausmannita, principal fuente de manganeso. A partir de esta forma se puede obtener cualquier otra forma de manganeso. Los costos de estos procesos se han estimado entre 300 y 500 USD/ton. (Wiaux, 1995).

IV CONCLUSIONES

A diferencia de los procesos pirometalúrgicos, estos procesos implican la recuperación de zinc y manganeso en forma de compuestos químicos, y no como metales puros.

Para el lixiviado de zinc, el ácido nítrico resultó ser un mejor reactivo, pues, en una solución al 3.0% v/v, extrajo el 94%, mientras el ácido sulfúrico sólo extrajo al 86%.

Es posible llevar a cabo la recuperación de los metales en solución ácida mediante precipitación, utilizando el electrolito contenido en las pilas con rendimientos de hasta el 99%.

Los métodos hidrometalúrgicos representan una alternativa más barata que los actuales métodos de reciclaje, basados en la pirometalurgía.

Si las pilas se desmantelan manualmente, la gran parte de sus componentes, si no todos, se pueden reciclar mediante métodos existentes y funcionales en la actualidad (reciclaje de chatarra, papel y plástico).

V RECOMENDACIONES

Para determinar la composición del polvo proveniente de cátodo y ánodo de las pilas, se recomienda homogeneizarlo mediante un método que garantice un tamaño de partícula uniforme, para evitar errores.

El uso de peróxido de hidrógeno permite la extracción y recuperación selectiva de zinc y manganeso. Se recomienda utilizar este método para obtener a los metales por separado, pues separarlos durante la precipitación implica un control muy delicado de pH y es más complicado.

La solución de KOH obtenida en el lixiviado neutro sirve para recuperar a los metales mediante precipitación, pero debido a la pequeña cantidad que se obtiene de solución alcalina, se recomienda utilizarla en conjunto con reactivo adicional.

VI REFERENCIAS

Bernardes A. M., Espinosa D. C. R., Tenorio J. A. S., (2004). Recycling of batteries: a review of current processes and technologies. Journal of Power Sources, 130, 291-298.

Bueno C. C., Correa D., Soares J. A., (2001). Characterization of used alkaline batteries powder and analysis of zinc recovery by acidic leaching. *Journal of Power Sources*, **103**, 120-126.

Bueno C.C., Soares J.A., (2004), Simultaneous recovery of zinc and manganese dioxide from household alkaline batteries through hydrometallurgical procedures. *Journal of Power Sources*., **136**, 191-196.

Castro y Díaz. La Contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta Ecológica, INE- SEMARNAT México. Núm 72. México 2004.

Freitas M., Pietre M.K., (2004). Electrochemical recycling of zinc from spent Zn-MnO2 primary batteries, *Journal of Power Sources*, **128**, 343-349.

Freitas M., Regorett V.C., Pietre M.K., (2007). Recycling manganese from spent Zn-MnO2 primary batteries, *Journal of Power Sources*, **164**, 947-952.

Pereira D., Dorella G., Alves R., and Borges M. (2006). Analysis of a hydrometallurgical route to recover base metals from spent rechargeable batteries by liquid-liquid extraction with Cyanex 272. *Journal of Power Sources*, **159,** 1510-1517.

Salgado A., Veloso A., Pereira D., Gontijo G., Salum A., and Mansur M. (2003). Recovery of zinc and manganese from spent alkaline batteries by liquid-liquid extraction with Cyanex 272. *Journal of Power Sources,* **115,** 367-373.

Veloso L. R. S., Rodríguez L. E. O. C., Ferreira D. A., (2005). Development of a hydrometallurgical route for the recovery of zinc and manganese from spent alkaline batteries. *Journal of Power Sources*, **152**, 295-302.

Wiaux J-P., Waefler J-P., (1995). Recylcing zinc batteries: An economical challenge in consumer waste management. *Journal of Power Sources*, **57**, 61-65.

Presentación
Antecedentes
Extensos
Sede
Contacto

4. Almacenamiento recolección transporte y transferencia.

- Acceso diferenciado de los hogares al servicio de recolección de residuos sólidos.
- Protección del recurso hídrico mediante la recolección de aceite usado de cocina en la zona residencial del barrio Simon Bolivar, Distrito De Santa Marta D.T.C.H Magdalena Colombia.

3er encuentro de expertos en
9, 10 y 11
Junio
2010
RESIDUOS
SÓLIDOS

Acceso diferenciado de los hogares al servicio de recolección de residuos sólidos

Fabiola Aviña Hernández
Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede México
México Distrito Federal.
email: fabiola.avina@flacso.edu.mx

Resumen

El servicio de recolección de residuos sólidos no cubren el total de lo generado, de 1992 a 2008 se pasó en México de un 70% a un 92% en el porcentaje de recolección (INEGI, varios años). El presente documento ofrece un análisis sobre las variables que influyen en el acceso diferenciado al servicio de recolección en los hogares. Se realiza un análisis descriptivo sobre la relación entre las características de la vivienda, el hogar y el jefe del hogar por un lado y el acceso al servicio por el otro lado.

Los hogares generan entre el 55 y 80% de los residuos (Bernache 2006, Terraza 2009, Johnstone y Labonne 2004, SEDESOL 2008) y son ellos quienes sufren un acceso diferenciado en el servicio de recolección. Para Terraza (2009: 11), en las ciudades con una población mayor a 500.000 habitantes se recolecta el 82% de lo generado, mientras que en ciudades con una población inferior se recolecta el 69% en promedio y el servicio sigue siendo deficiente o inexistente en áreas marginales con asentamientos informales y en centros rurales.

Para analizar las variables que tienen mayor influencia en el acceso al servicio de recolección de residuos sólidos domésticos se utiliza la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH), levantada por el INEGI en 2008, la cual es una muestra representativa a nivel nacional y brinda información sobre el acceso a los servicios públicos de los hogares.

Palabras Clave – residuos sólidos, recolección, hogares, acceso.

Abstract

Solid waste collection does not equal the amount of solid waste generated. In Mexico there was an increase of 70% to 92% in garbage collection from 1992 to 2008 (INEGI, several years). The article offers an analysis of the variables that have an influence in the differentiated access to the service of home garbage collection. A descriptive analysis was made about the relationship between the characteristics of houses and households within the house and the heads of households in order to shed light on the variables that have an impact on the access to the service.

Homes generate between 55% to 80% of solid waste (Bernache 2006, Terraza 2009, Johnstone and Labonne 2004, SEDESOL 2008) and homes suffer inefficiency in waste collection. For Terraza (2009: 11), in the cities with a population higher than 500,000 inhabitants there is a waste collection of 82%, while in the cities having a smaller population, the waste collection is of 69% on average. But the service is still inefficient or nonexistent in marginal areas with informal settlements and in rural centers.

The National Survey of Income and Expenditure at Homes (ENIGH) is used to analyze the variables that have the most influence in the access of homes to solid waste collection. This survey was made by INEGI in 2008, and it is a representative sample of the national level and gives information about public services offered accessible to homes.

Keywords – waste, collection, home, access.

I. INTRODUCCIÓN

La crisis ecológica es el resultado de las actividades de la sociedad y por ello la centralidad de la

dimensión ambiental de la política, es decir, las cuestiones medioambientales son cada vez más decisivas dentro de la teoría y la práctica política, de ahí la necesidad de formular respuestas a través de la acción política. Para Valencia (2007: 155) hoy más que nunca, lo medio ambiental es un eje fundamental de lo político en las sociedades contemporáneas, es pues un reto y ocupa un papel decisivo para la política del siglo XXI.

1.1. Normatividad de los residuos sólidos

El momento en que autoridades de diversos países así como organismos internacionales abordan la crisis ambiental es en 1972, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, cuyo objetivo fue instar a la preservación y mejora del medio ambiente humano, siguieron ejemplos como: el informe Bruntland de 1987, donde se institucionaliza el concepto de *desarrollo sustentable*, refiriéndose al proceso que permite satisfacer las necesidades de la población actual sin comprometer la capacidad de atender a las generaciones futuras; la cubre mundial de Rio de Janeiro (1992); la Cumbre de Kyoto (2000) y el Congreso de Sudáfrica (2002), "donde se reúnen científicos, lideres políticos, fundaciones y organizaciones sociales, para conocer el estado de *desgaste* del planeta, documentar experiencias y llegar a acuerdos" (Bassols, 2007: 191).

En 1992 se realizó la conferencia de la ONU sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro (cumbre de Rio o cumbre de la tierra), que entre otros instrumentos generó un plan de acción mundial – con el acuerdo de representantes de 179 gobiernos – denominado Agenda 21[1] (o Programa 21), que es una respuesta a la invitación que las Naciones Unidas formulara en 1972 con el fin de que las ciudades elaboraran planes y acciones para afrontar los retos ambientales del siglo XXI.

En el caso particular de los residuos sólidos la agenda 21 afirmó que la administración ambientalmente racional de los residuos se encontraba entre las cuestiones que más importancia tenían para mantener la calidad del medio ambiente.

El capítulo 21 de la Agenda 21, instituye las bases para la administración de los residuos sólidos en el ámbito municipal como parte del desarrollo sustentable. Se establece ahí que la administración de los residuos debe contemplar la minimización de la producción de residuos, el reciclaje, la *recolección*, el tratamiento y disposición final adecuados. En el punto 21.30 de dicho documento se señala que "los gobiernos, las instituciones y las organizaciones no gubernamentales, junto con la industria y en colaboración con las organizaciones competentes del sistema de Naciones Unidas, deberían iniciar programas para mejorar la administración y reducción de la contaminación debida a los residuos".

También surgen recomendaciones como la de Naciones Unidas (2005), acerca de la funciones del gobierno federal, estatal y municipal, las cuales deben ser: 1) La promulgación y desarrollo de la legislación; 2) Establecimiento de una agencia o departamento para implementar los programas y 3) Realizar investigación y desarrollo – incluyendo la creación de *bases de datos* –, dichas medidas deben ser idealmente, consistentes con los programas a nivel internacional, como la Agenda 21.

1.2. Normatividad de los residuos sólidos en México.

El marco legal para el manejo de los residuos sólidos urbanos en México incluye leyes, reglamentos y normas de los tres órdenes de gobierno e involucra a un número considerable de instituciones (SEDESOL, 2008: 109), siendo las atribuciones respecto de los servicios en materia de recolección, almacenamiento, transporte, reuso, reciclado, tratamiento y disposición final de residuos sólidos:

- SEMARNAT: expide normas oficiales mexicanas en materia de funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reusos,

[1] La *Agenda* es una lista detallada de asuntos que requieren atención, organizada cronológicamente y *21* hace referencia al siglo XXI, es también una guía de las medidas – encaminadas por indicadores – que se deben seguir a nivel internacional, nacional y local.

tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales.

- Estado: emite regulación jurídica en materia de sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, disposición final de los residuos sólidos e industriales.
- Municipio: autoriza el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales.

En México se ha construido la institucionalidad de los residuos sólidos, vinculada al proceso de descentralización de la administración de los servicios públicos en general y la recolección de los residuos sólidos en particular. Los programas son discursivamente atractivos, ejemplo de ello son los planes y bandos municipales que establecen metas altas, tratándose de documentos programáticos que en general describen de manera amplia los objetivos de los administradores municipales pero no están basados en diagnósticos y estudios técnicos que ayuden a representar la magnitud de los problemas, evalúen los programas ya instrumentados o propongan medidas realizables.

En México existe una "regulación ambiental" constituida por: leyes, normas, planes, programas y reglamentos respecto de la administración de los residuos sólidos, ejemplo de ello es el artículo 115 de la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* en cuyo apartado III[2] se establece como una facultad municipal la responsabilidad de la *limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los residuos.*

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA[3]), publicada en el diario oficial de la federación el 28 de enero de 1988, llevó la cuestión ecológica al terreno municipal, en sus artículos 5, 7, 8 y 9, en el Titulo Cuarto, Capítulo VI, establece una distribución de competencias en materia de residuos reservando a la federación la regulación y administración de los residuos peligrosos y diferenciándolos del resto de los residuos como son los de manejo especial y los residuos sólidos urbanos, cuya regulación y administración en concordancia con la distribución de competencias hecha en la Constitución, se deja a los Estados y municipios. Es decir, se establecen las bases de interacción y responsabilidad compartida entre los niveles de gobierno y se reorienta la política ambiental.

La Ley General para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR[4]*),* es uno de los instrumentos más importantes de administración de los residuos, "se formuló tomando en consideración los diagnósticos contenidos en el Manual de Referencia de la OCDE sobre la Prevención Estratégica de Residuos, que en el año 2000 alertó sobre el *crecimiento continuo de los residuos sólidos urbanos en sus países miembros*, como es el caso de México y la lentitud con la cual las regulaciones basadas únicamente en el reciclaje – introducidas en la década de los 80 – contribuyen a reducir dicho incremento" (Cortinas, 2006: 2).

La Norma 083 de residuos (NOM – 083 – ECOL – 1996), regula la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, planteando que los sitios destinados a la ubicación de tal infraestructura, así como su diseño, construcción, operación, clausura, monitoreo y obras complementarias, deben llevarse a cabo de acuerdo a los lineamientos técnicos que garanticen la protección del ambiente, la preservación del equilibrio ecológico y de los recursos naturales, la minimización de los efectos contaminantes provocados por la inadecuada disposición de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial y la protección de la salud pública en general. Es obligatoria para las entidades públicas y privadas responsables de la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de administración especial (DOF, 2004: 1 – 2).

1.3. Problemática de los residuos sólidos

Las respuestas a las cuestiones ambientales han sido diversas, según la naturaleza del problema,

[2] http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1.pdf

[3] http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Reglamentos%20del%20sector/REGLAMENTO%20LGEEPA

[4] http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263.pdf

la capacidad técnica de los gobiernos municipales en materia de administración ambiental, el tipo de sociedad, la percepción de las cuestiones ambientales por parte de organizaciones civiles, la acción pública financieramente sustentada y las atribuciones que la legislación ambiental le reconozca a los municipios en México (Bassols, 2007: 215).

Ante la existencia de individuos que demandan la recolección de la basura, deben existir el o los prestadores del servicio, que satisfagan las necesidades, en este sentido, la administración de los residuos sólidos domésticos[5] en general y su recolección[6] en particular toman relevancia en el ámbito de las decisiones públicas, siendo la responsabilidad del municipio ofertar dicho servicio.

Los residuos sólidos son un problema ya que a pesar de las medidas implementadas en el marco regulatorio, su cantidad se ha incrementado y los niveles de recolección no cubren el total de lo generado. En 15 años, es decir, de 1993 a 2008 la generación per cápita diaria de residuos en México aumento en un 10%, pasando de 0.87kg a 0.96kg respectivamente (ver Cuadro 1).

[5] Los residuos sólidos domésticos son un componente de los residuos sólidos urbanos que incluyen: "residuos de los hogares y residuos similares, como: 1) residuos voluminosos (por ejemplo: línea blanca, muebles viejos, colchones) y 2) residuos de jardín, hojas, periódicos, lo que se barre en la calle, contenedores pequeños, etc. También pueden ser divididos en reciclables y no reciclables. Se excluyen las aguas residuales y tratadas, los residuos de construcción y demolición y los producidos por ciertas industrias considerados como peligrosos. La administración de los residuos incluye residuos generados en: hogares, comercios, negocios, oficinas e instituciones (como escuelas, hospitales y edificios de gobierno)" (Johnstone and Labonne, 2004).

Con la publicación de la Ley General para a Prevención y Gestión Integral de Residuos en mayo de 2003, lo que se conocía como residuos sólidos municipales, pasa a ser residuos sólidos urbanos y se refiere a la basura producida en las ciudades, la que incluye residuos generados en las casas habitación y en otras fuentes como son comercios, instituciones, lugares de recreación y otros.

[6] Recolección y transporte, implica reunir y quitar los residuos del punto de generación para salvaguardar la salud pública, limitar la contaminación e impedir olores indeseables y paisajes ofensivos. (Beede and Bloom, 1995).

Cuadro1. Generación, recolección y disposición final de residuos sólidos urbanos, 1993 – 2008. (Miles de toneladas).

Año	Genera-ción	TCA	Recolección	% de recolección	Disposición final	Reciclaje e/	Generación per cápita anual (kg)	Generación per cápita diaria (kg)
1993	28089.5	---	19662.7	70.00	---	----	316.5	0.87
1994	29472.4	4.92	20630.7	70.00	---	----	326.5	0.89
1995	30509.6	3.52	21357	70.00	---	719	332.6	0.91
1996	31959.4	4.7	22371.3	70.00	31206.2	753.2	343.17	0.94
1997	29272.4	-8.4	22539.8	77.00	28582.6	689.8	309.83	0.85
1998	30550.5	4.4	25854.9	84.63	29830.6	720	318.93	0.87
1999	30952	1.3	26194.7	84.63	30222.6	729.4	318.72	0.87
2000	30733	-0.7	26009.3	84.63	30008.8	724.3	312.2	0.86
2001	31488.6	2.5	26648.8	84.63	30746.5	742.1	315.78	0.87
2002	32173.6	2.2	27669.3	86.00	31393.2	780.5	318.84	0.87
2003	32915.7	2.3	28635.6	87.00	32095.1	820.5	322.7	0.88
2004	34602	5.1	30106.7	87.01	33707	895	335.94	0.92
2005	35383.1	2.3	31257.4	88.34	34233	1150	340.4	0.93
2006	36135	2.1	31928.9	88.36	34959	1176	344.56	0.94
2007	36800	1.8	33095.6	89.93	35401.6	1202.2	347.86	0.95
2008	37200	1.1	34146.1	91.79	35786.4	1230	348.7	0.96

FUENTE: Elaboración propia con datos del INEGI (1992 - 2008) y Segundo Informe de Gobierno del presidente Felipe Calderón Hinojosa (2008).

e/ Materiales recuperados en los sitios de disposición final. Excluye lo separado en diversas fuentes de generación, lo recuperado en contenedores y vehículos de recolección.

La generación de residuos sólidos es cada vez mayor y tiene relación directa con los patrones de consumo de la población, los cuales en las últimas décadas han cambiado hacia un uso de más materiales para empaques, una vida útil más corta de los productos, la reducción de los tipos de envases y botellas retornables, así como un aumento en empaques y materiales que se definen comercialmente como desechables. La sociedad mexicana se encuentra enclavada en patrones de consumo que generan crecientes cantidades de basura, siendo entre el 55 y 80% de los residuos municipales generados por los hogares (Bernache 2006, OCDE 2004, SEDESOL 2008).

En el año 2008 se arroja una media nacional de 0,79 kg/per cápita/día para residuos domésticos, es decir, el 81% de los 0,97 kg/per cápita/día de residuos municipales.

Dado el incremento en los montos de los residuos, resulta importante estudiar el acceso a la recolección, para lo cual es preciso ubicar las fuentes de residuos sólidos urbanos, las más importantes de acuerdo al volumen producido son (Bernache, 2006):

1. Domiciliarias: unifamiliar o plurifamiliar. Los hogares generan entre el 55 y 80% de los residuos (Bernache 2006, Terraza 2009, Johnstone y Labonne 2004, SEDESOL 2008).
2. Otras fuentes generan el restante 20% de los residuos sólidos urbanos: comercios (tiendas de autoservicios, tiendas departamentales, locales comerciales y almacenamiento y abasto); servicios (restaurantes y bares, servicios públicos, hoteles y moteles); centros educativos; centros de espectáculos y recreación; oficinas públicas y privadas; residuos especiales (unidades medicas, laboratorios, veterinarias, trans-

porte terrestre transporte aéreo; centros de readaptación e instituciones militares); áreas públicas (espacios abiertos y vía pública); construcción y materiales en desuso.

Así, la administración de los residuos sólidos en general y su recolección en particular adquiere relevancia al insertarse dentro de los temas que dan forma a la problemática ambiental.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La ENIGH[7] 2008 es una encuesta representativa a nivel nacional de corte transversal que comprende una muestra de 35 146 viviendas y es apropiada para realizar el estudio del acceso de los hogares al servicio de recolección de residuos sólidos.

El objetivo general de la ENIGH es proporcionar un panorama estadístico del comportamiento de los ingresos y gastos de los hogares en cuanto a su monto, procedencia y distribución; adicionalmente ofrece información sobre las características socio-demográficas de los integrantes del hogar, y sobre las características de infraestructura y de acceso a los servicios públicos de las viviendas en que residen. Las unidades de análisis para la ENIGH son, el hogar, la vivienda y los integrantes del hogar.

La ENIGH 2008 proporciona información a nivel nacional, para el conjunto de localidades de 2 500 y más habitantes y para el de aquellas con menos de 2 500 habitantes. La información también se puede desagregar según los estratos de marginación definidos por el Consejo Nacional de Población (CONAPO). Además se tiene información de ampliaciones (representatividad a nivel estatal o área metropolitana) en los levantamientos del Estado de México, Distrito Federal, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Sonora y Yucatán.

El análisis estadístico de la ENIGH, buscará detectar la relación entre las características de la vivienda, el equipamiento del hogar y las características socio-económicas del jefe del hogar con el acceso al servicio de recolección.

El cruce de variables (análisis a nivel del hogar) permitirá observar si son significantes para el acceso al servicio de recolección. Se generaron tres categorías para el estudio:

1. Características de la vivienda (infraestructura): tipo de pisos muros, techos, drenaje, agua, electricidad.
2. Equipamiento del hogar: refrigerador, estufa, televisor, lavadora, automóvil.
3. Características socio-demográficas del jefe de hogar: sexo, edad, estado civil, educación, ingreso.

Si bien el problema de la diferenciación en el servicio de recolección depende en gran medida de la discrecionalidad de los chóferes de los camiones (van donde dan mejores propinas o hay "mejor basura"), está estrechamente relacionado con las características de los hogares: los hogares pobres reciben un servicio ineficiente.

El análisis se realiza mediante la elaboración de tablas de contingencia[8] entre las variables de las características de la vivienda, el equipamiento del hogar y el jefe del hogar por un lado y por otro lado la pregunta 26 de la ENIGH relacionada con la recolección de la basura. Las tablas permiten observar la relación entre dos variables nominales y ofrecen un panorama general acerca de cómo se distribuyen los casos, detectando las regularidades de los datos, entre las que destacan:

- La identificación del acceso al servicio de recolección de los hogares dependiendo de las características de la vivienda, el equipamiento del hogar, las características del jefe del hogar y el ingreso de los hogares.

[7] El marco de muestreo utilizado para elaborar la ENIGH es el marco de propósitos múltiples del INEGI, está constituido con la información demográfica y cartográfica obtenida a partir del levantamiento del Censo de Población y Vivienda del 2000. El tamaño de la muestra efectiva para el año 2008 es de 35 146 viviendas.

[8] Las operaciones se realizaron mediante el software estadístico SPSS17. Las tablas de contingencia se emplean para analizar la relación entre dos o más variables, habitualmente nominales. Antes de la elaboración de las tablas de contingencia se trabajo con tablas de frecuencia para conocer y agrupar los datos. Se transformaron algunas variables para su manejo, quedando como: PisoR, TechoR, ParedesR, Acceso a aguaR, Acceso a drenajeR, educación del jefe de hogarR. Además, se generaron dos variables: 1) Hacinamiento (hacinamiento= número de dormitorios / número de habitantes del hogar) y 2) ingreso per cápita (Yper cápita= Y total del hogar / número de habitantes del hogar).

- Las características de los hogares que indican condiciones de vida precarias impactan negativamente en el acceso al servicio de recolección de los residuos sólidos.

Las variables que se incluyen en el análisis son las siguientes:

Piso. De que material es el piso de la vivienda: 1) tierra; 2) cemento o firma y 3) otros materiales.

Techo. De que material es el techo de la vivienda: 1) losa y 2) otros materiales.

Paredes. De que material son las paredes de la vivienda: 1) tabique y 2) otros materiales.

Acceso a agua. En la vivienda se tiene agua de: 1) red pública dentro de la vivienda; 2) red pública fuera de la vivienda y 3) otro.

Acceso a drenaje. La vivienda tiene drenaje conectado a: 1) red pública; 2) no tiene drenaje y 3) otra.

Acceso a luz eléctrica. En la vivienda la luz eléctrica se obtiene de: 1) servicio público; 2) no hay y 3) otras fuentes.

Educación jefe del hogar. Muestra el nivel de educación desde sin instrucción hasta profesional y posgrado.

Estrato CONAPO. Es el índice de marginación dividido en: 1) muy bajo; 2) bajo; 3) medio; 4) alto y 5) muy alto.

Estrato. Establece el tipo de localidad: 1) de 100000 habitantes y más; 2) de 15000 a 99999 habitantes; 3) de 2500 a 14999 habitantes y 4) menores a 2500 habitantes.

Para el *equipamiento del hogar* se considero si el hogar cuenta o no con: refrigerador, estufa, lavadora, televisor y automóvil.

Hacinamiento. Es un indicador de la precariedad de la vivienda y se obtuvo dividiendo el número de dormitorios entre el número de personas que habitan en el hogar.

Ingreso pre cápita. Muestra el ingreso de los integrantes del hogar.

III. RESULTADOS

3.1. Relación de variables con la recolección de la basura.

A continuación se presentan los resultados de las tablas de contingencia que relacionan distintas variables con la recolección de basura en los hogares.

El 70.4% de los hogares reciben el servicio de 1 a 3 días a la semana, el 17% diario y el 3.7% tarda más de una semana (ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentrado de tablas de contingencia: Variables - Recolección de basura

TOTAL hogares 22169810

1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 diario	8. tardan más de 1 semana	Total
14.7 %	21.5 %	34.2 %	1.9%	1%	6%	17%	3.7%	100 %

VARIABLE	CLASIFICACIONES	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 diario	8. tardan más de 1 semana	Total
PISO.R	tierra	30.0	28.9	19.9	1.2	0.8	2.4	8.2	8.7	100
	cemento o firme	19.9	23.7	31.4	1.8	0.6	4.5	12.5	5.5	100
	otros materiales	7.8	18.5	38.2	2.2	1.5	7.9	22.6	1.3	100
TECHO.R	losa	11.7	20.7	36.2	2.2	1.2	6.4	18.7	2.8	100
	otros materiales	25.4	24.2	26.7	1.0	0.6	4.4	10.7	7.0	100
PAREDES.R	tabique	13.2	21.4	34.9	2.1	1.1	6.2	17.9	3.3	100
	otros materiales	26.5	22.6	28.2	0.9	0.6	4.7	9.8	6.6	100
ACCESO AGUA.R	red pública dentro	11.5	19.9	37.2	2.1	1.1	6.7	19.0	2.4	100
	red pública fuera	24.5	27.8	24.5	1.9	0.7	2.9	10.8	6.8	100
	otro	30.3	26.4	19.2	0.7	0.4	4.3	6.9	11.8	100
ACCESO DRENAJE	red pública	11.7	20.3	36.4	2.2	1.1	6.5	19.2	2.5	100
	no tiene drenaje	34.4	26.2	13.3	0.5	0.3	4.0	3.5	17.9	100
	otra	29.7	28.1	24.5	0.6	0.6	3.0	5.6	7.8	100
ACCESO LUZ ELECTRICA.R	servicio público	14.6	21.5	34.3	2.0	1.0	6.0	17.1	3.6	100
	no hay	23.5	26.1	10.6	0.9	0.7	7.7	1.7	28.8	100
	otras fuentes	28.7	25.7	21.9	0.5	0.0	3.1	9.1	11.0	100
EDUCACIÓN JEFE HOGAR.R	sin instrucción	20.9	20.7	26.9	1.8	1.5	6.2	12.3	9.8	100
	primaria incompleta	20.8	22.5	31.1	1.3	0.8	6.3	12.7	4.5	100
	primaria completa	16.0	22.3	32.9	2.0	0.8	6.1	15.8	4.0	100
	secundaria completa	12.9	21.9	35.8	2.1	1.0	5.5	17.9	3.0	100
	preparatoria completa	11.6	21.6	35.8	2.6	1.3	5.7	19.3	2.0	100
	profesional o posgrado	6.6	18.3	40.0	1.9	1.4	6.6	23.7	1.5	100
	Alto	33.3	19.6	21.7	0.6	0.6	4.8	9.3	10.1	100
	Bajo	19.6	24.9	20.9	1.4	1.1	9.1	17.1	6.0	100
ESTRATO CONAPO	Medio	32.2	25.8	15.6	1.2	0.7	5.8	11.2	7.6	100
(índice de marginación)	Muy alto	23.1	34.3	26.4	1.2	0.4	1.8	4.6	8.2	100
	Muy bajo	9.6	20.1	40.7	2.3	1.1	5.5	18.6	2.1	100
ESTRATO	De 100000 hab. y más	7.5	19.4	41.6	2.6	1.1	5.6	20.6	1.5	100
	De15000 a 99999 hab.	12.2	26.8	30.4	1.2	1.4	7.8	17.0	3.2	100
	De 2500 a 14999 hab.	29.5	22.5	20.3	0.9	0.7	7.7	11.8	6.6	100
	Menores a 2500 hab	42.6	24.4	12.9	0.6	0.4	3.4	1.9	13.8	100

Fuente: Elaboración propia, en base a los datos de la ENIGH 2008. INEGI.

El tipo de material del **piso, techo y paredes**, muestra relación con el número de días de la semana que recogen la basura. El 67.6% de los hogares con **piso de tierra**, reciben el servicio uno, dos días a la semana o tardan más de una semana.

El 18.7% de quienes cuentan con **techo de losa y** el 17.9% que tienen **paredes de tabique** tienen una recolección diaria, mientras que si son de otros materiales es de alrededor del 7%.

En cuanto al acceso a **luz eléctrica**, NO tener, implica que la recolección se realice un día a la semana (23.5%) o tarde más de una semana (28.8%).

La **educación del jefe de hogar,** mientras menor educación presenta, el acceso a la recolección disminuye (de 2 a 6 días no hay mucha diferencia). Sin instrucción registra 20.9% de que pase un día a la semana, mientras que profesional o posgrado es de 6.6%; que tarde más de una semana: sin instrucción 9.8% y profesional o posgrado 1.5%. Mientras que la recolección diaria es de un 12.3% para sin instrucción y 23.7% a profesional o posgrado.

Índice de marginación (**ESTRATO CONAPO**[9]): el 31.3% de la población que vive en zonas de muy alta marginación recibe el servicio un día a la semana o tarda más de una semana para que recojan la basura y el 4.6% la recogen diario. Mientras que en zonas de muy baja marginación es de 9.6 y 18.6% respectivamente.

En cuanto al **ESTRATO**, en las localidades menores a 2500 habitantes: el 56.4% recibe el servicio un día a la semana o tarda más de una semana y para el 1.9% es diario.

Para localidades de 100000 habitantes y más: al 20.6% recolectan diario, mientras que una vez a la semana o tarda más de una semana es el 9%.

De quienes reciben el servicio de recolección diario, el 73.9% vive en localidades de 100000 habitantes y más, mientras que el 1.1% vive en localidades menores a 2500 habitantes. Para quienes tarda más de una semana, el 37.6% vive en localidades menores a 2500 habitantes y el 25.2 % en localidades de 100000 habitantes y más.

En cuanto al equipamiento del hogar, considerando los aparatos propiedad del hogar como **refrigerador, estufa, lavadora, televisor y automóvil**, los porcentajes de que tarde más de una semana se incrementan si no tienen el equipamiento.

3.2. Relación del ingreso per cápita con la recolección de basura

La relación del ingreso per cápita con la recolección se muestra en el cuadro 3, en donde se observa hasta un salario mínimo: 11.9% tiene el servicio diario y para el 7.3% tarda más de una semana.

Más de nueve salarios mínimos: el 28.2% tiene el servicio diario y para el 1.3% tarda más de una semana.

[9] El índice de marginación es una medida resumen que permite diferenciar entidades federativas y municipios según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en vivienda inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas. (Valencia Y Bertozzi, 2006: 19).

Cuadro 3. Tabla de contingencia: Y per cápita - Recolección de basura

	Recolección de basura ¿Cuántos días a la semana recogen la basura?								
	1 Un día.	2 dos días	3 tres días	4 cuatro días	5 cinco días	6 seis días	7 Diario.	8. tardan mas de una sema-na	Total
Y per cápita									
1. De $128.55 a $4733 (un salario mínimo)	1221632	130868 9	150907 7	80332	43387	272644	656523	402519	5494803
	22.2%	23.8%	27.5%	1.5%	.8%	5.0%	11.9%	7.3%	100.0%
2. De $4734 a $9466 (dos salarios mínimos)	1036141	161500 7	251237 7	162897	61425	433292	112925 5	243194	7193588
	14.4%	22.5%	34.9%	2.3%	.9%	6.0%	15.7%	3.4%	100.0%
3. De $9467 a $14199 (tres salarios mínimos)	463449	766583	137229 5	67464	41605	240525	692302	89285	3733508
	12.4%	20.5%	36.8%	1.8%	1.1%	6.4%	18.5%	2.4%	100.0%
4. De $14200 a $18933 (cuatro salarios mínimos)	204058	407053	802126	46593	27624	133599	410040	25284	2056377
	9.9%	19.8%	39.0%	2.3%	1.3%	6.5%	19.9%	1.2%	100.0%
5. De $18934 a $23666 (cinco salarios mínimos)	135233	217036	423809	26501	16494	72876	257810	22150	1171909
	11.5%	18.5%	36.2%	2.3%	1.4%	6.2%	22.0%	1.9%	100.0%
6. De $23667 a $28399 (seis salarios mínimos)	54540	134151	266912	6161	4304	36942	137961	6805	647776
	8.4%	20.7%	41.2%	1.0%	.7%	5.7%	21.3%	1.1%	100.0%
7. De $8400 a $33132 (siete salarios mínimos)	34369	76103	152576	10688	9169	51966	110431	8014	453316
	7.6%	16.8%	33.7%	2.4%	2.0%	11.5%	24.4%	1.8%	100.0%
8. De $33133 a $37865 (ocho salarios mínimos)	22634	48477	108408	8295	4302	20113	56516	3101	271846
	8.3%	17.8%	39.9%	3.1%	1.6%	7.4%	20.8%	1.1%	100.0%
9. De $37866 a $42598 (nueve salarios mínimos)	11706	34172	74176	5278	4880	10180	49766	5917	196075
	6.0%	17.4%	37.8%	2.7%	2.5%	5.2%	25.4%	3.0%	100.0%
10. De $42599 a $4350233	65415	156184	355293	16736	15857	58465	267342	11990	947282
	6.9%	16.5%	37.5%	1.8%	1.7%	6.2%	28.2%	1.3%	100.0%
Total	3249177	476345 5	757704 9	430945	229047	133060 2	376794 6	818259	2216648 0
	14.7%	21.5%	34.2%	1.9%	1.0%	6.0%	17.0%	3.7%	100.0%

Fuente: Elaboración propia, en base a los datos de la ENIGH 2008. INEGI.

Los factores socioeconómicos y demográficos descritos en los apartados anteriores, se encuentran relacionados entre si y también están vinculados al ingreso. Por lo general, las familias más pobres son las que viven en áreas marginadas, tienen menores niveles de educación, un mayor número de hijos así como menor acceso a los distintos servicios (agua, electricidad, drenaje, etc.) y bienes (automóvil, televisor, refrigerador, estufa y lavadora). Por el contrario, los hogares con mayor ingreso viven en zonas con baja marginación, cuentan con niveles altos de educación y tienen un número menor de hijos.

Habitualmente, un mayor ingreso se encuentra asociado con mejores condiciones de vida, incluyendo una mayor posibilidad de acceder a los servicios, aunque al llevar el adjetivo de públicos denotan un otorgamiento equitativo entre toda la sociedad.

IV. CONCLUSIONES

Analizar el servicio de recolección de los residuos sólidos domésticos, haciendo uso de infor-

mación estadística representativa a nivel nacional mediante la ENIGH 2008, permite visualizar la incidencia de ciertas variables en el acceso al servicio de recolección de los residuos. Se detectan variables significativas para el conocimiento del acceso de los hogares al servicio de recolección.

Los datos permiten detectar como principales variables que inciden en el acceso al servicio de recolección de basura: a) el ingreso per cápita; b) el estrato de marginación en el cual se ubica la vivienda; c) el tipo de localidad; d) la infraestructura de la vivienda (materiales de piso, paredes y techos) y e) el acceso a diversos servicios públicos (agua, electricidad y drenaje).

El lugar de residencia, tanto en relación al estrato CONAPO como al tamaño de la localidad resultó importante, ya que los hogares que se ven más afectados en el acceso al servicio de recolección son aquellos que se ubican en estratos de muy alta marginación y los que viven en comunidades menores a 2500 habitantes, y tienen mayor posibilidad de recibir el servicio menos días.

Una de las principales limitaciones que presentó el desarrollo de este análisis consistió en el uso de variables a nivel nacional (mostrando un panorama general del acceso al servicio de recolección), siendo que el servicio es proporcionado por el municipio, lo anterior debido a que no existe información para el nivel local.

V. RECONOCIMIENTOS

Agradezco a FLACSO México así como a CONACYT por la beca para la realización del doctorado que ha permitido la dedicación para la elaboración de este documento. También agradezco al Comité técnico científico del 3er encuentro nacional de expertos en residuos sólidos por la aceptación del trabajo.

VI. REFERENCIAS

Bassols, M. (2007). Administración pública municipal, en *Políticas públicas municipales. Una agenda en construcción.* CIDE; Porrúa.

Beede and Bloom. (1995). "The Economics of Municipal Solid Waste". *The World Bank Research Observer,* Vol. 10, No. 2. pp. 113-150.

Bernache, G. (2006). Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental, México, CIESAS.

Johnstone and Labonne, (2004). "Generation of Household Solid Waste in OECD Countries: An Empirical Analysis Using Macroeconomic Data", *Land Economics*, Vol. 80, No. 4. pp. 529-538.

Terraza, H. (2009). Manejo de residuos sólidos. Lineamientos para un servicio integral, sustentable e inclusivo. BID.

United Nations. (2005). Solid Waste Management (vol. I, vol. II) *United Nations Environment Programme. pp . 1 – 245.*

Valencia, Ángel. (2007). "Nuevos enfoques de la política", en *El paradigma ecológico en las ciencias sociales*, Barcelona, Icaria. pp 155 – 179.

Valencia A. y Bertozzi, S. (2006). "LA demanda condicional por servicios ambulatorios curativos en México", en *Serie de documentos de trabajo, 5,* México, pp. 1 – 44.

Fuentes electrónicas

http://www.semarnat.gob.mx/.../Documents/sniarn

http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1.pdf

http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Reglamentos%20del%20sector/REGLAMENTO%20LGEEPA

http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263.pdf

http://www.inegi.org.mx/inegi

http://segundo.informe.calderon.presidencia.gob.mx/

PROTECCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO MEDIANTE LA RECOLECCIÓN DE ACEITE USADO DE COCINA EN LA ZONA RESIDENCIAL DEL BARRIO SIMÓN BOLÍVAR, DISTRITO DE SANTA MARTA D.T.C.H MAGDALENA COLOMBIA

Siul Vanessa Mendoza Soledad[1], Otilia Margarita Navarro Rincón[1], Adriana Consuelo Mera Benavides[2]

1Estudiante de Octavo Semestre del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Miembro del Grupo de Investigación Gestión Integral de Residuos Peligrosos y Sólidos Urbanos (GIRPSU) Universidad del Magdalena Santa Marta Colombia.
siul_mensol@hotmail.com - manari164@hotmail.com

2 Magister en Ingeniería Ambiental y Química Sostenible. Docente Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Líder del Grupo de Investigación Gestión Integral de Residuos Peligrosos y Sólidos Urbanos (GIRPSU) Universidad del Magdalena Santa Marta Colombia.
adrymera@hotmail.com

Resumen

Un caso de contaminación es el generado en los hogares, donde se vierten los residuos de aceite de cocina usado por el desagüe; este puede contaminar grandes volúmenes de agua ya que no se disuelve con facilidad, es difícil de degradar y forma capas impermeables que pueden impedir el paso del oxígeno. La ciudad de Santa Marta dispone sus aguas residuales al Mar Caribe por medio de un emisario submarino, lo grave es que estas no son sometidas a ningún tipo de tratamiento antes de ser vertidas, acción que implica que muchos contaminantes lleguen directamente al mar, esperando que por efectos naturales se degraden. Considerando lo anterior, nace este trabajo donde se establecen acciones de educación ambiental y control que promueven la conservación del recurso hídrico en una comunidad. Para el desarrollo de este proyecto se aplicaron encuestas con el fin de determinar el conocimiento de los habitantes respecto a la problemática generada por la disposición inadecuada del aceite de cocina, se realizaron charlas e instalación de dispositivos para la recolección de este residuo, en 60 hogares del barrio Simón Bolívar; los resultados de las encuestas muestran que un 44% de la comunidad no tiene una cultura ambiental establecida y que desconocían el impacto negativo generado al recurso por la inadecuada disposición del aceite; la respuesta de la comunidad fue acogedora; se recolectaron 14 litros de aceite al mes, con este aceite se elaboró velas y jabones. Los productos obtenidos se entregaron a la misma comunidad como incentivo a la acción ambiental realizada.

Palabras claves: Aceite Usado, Gestión Integral, Recolección, Reutilización.

Abstract

A case of pollution is generated in the home, where waste is dumped used cooking oil down the drain, it can contaminate large volumes of water and that does not dissolve easily, it is difficult to degrade and form impermeable layers can prevent the passage of oxygen. The city of Santa Marta have their wastewater into the Caribbean Sea through an outfall, the worst is that they are not subjected to any treatment before being discharged, an action which means that many pollutants go directly into the sea, hoping that degraded by natural effects. Considering the above, born this paper which sets out environmental education activities and control that promote conservation of water resources in a community. For the development of this project surveys were conducted to determine the knowledge of the people regarding

the problems created by improper disposal of cooking oil, there were talks and installation of devices for collecting this waste, in 60 households Simon Bolivar neighborhood, the results of surveys show that 44% of the community has established an environmental culture and not know the negative impact the action for the improper disposal of oil, the response was welcoming community, were collected 14 liters of oil per month, this oil is produced candles and soaps. The reaction products were delivered to the same community as an incentive for environmental action performed.

Keywords: Used Oil, Integrated Management, Collection, Reuse

I. INTRODUCCIÓN

Es muy común escuchar la importancia que amerita el agua en la supervivencia del hombre y en la prolongación de la biodiversidad de los ecosistemas del planeta, tal vez se habla más de estos temas en épocas como la actual, en las que el ser humano ha empezado a asimilar la problemática mundial que existe respecto a la degradación de la tierra; es correcto que las conversaciones giren alrededor del recurso hídrico debido a que las dos terceras partes de la tierra están cubiertas de agua salada y conforman un ecosistema amplio y complejo. La vida en el tercio restante del planeta azul (incluyendo al hombre) aunque asentada sobre los continentes depende en gran manera de la disponibilidad de agua dulce (Revista Ambientum, 2005).

El agua dulce es uno de los recursos estratégicos de este siglo, tanto en la escala local como en la global, su profusa presencia en todo el planeta contrasta con su desigual distribución, y el hecho de ser un elemento esencial para la vida hace que, en la actualidad, sea el centro de muchos conflictos, un amplio rango de crisis ecológicas y humanas que enfrenta el mundo está relacionada con el manejo inapropiado de este líquido y de los ecosistemas que lo producen. La disponibilidad del agua, junto con la degradación del suelo y la pérdida de la biodiversidad, son considerados los principales problemas que amenazan los recursos naturales y la preservación y el buen funcionamiento de los sistemas que soportan la vida (Chávez, M., 2007).

El agua de la hidrosfera está sometida a un continuo reciclaje (Ciclo del agua) movido por la energía del Sol y considerado como un gran sistema de depuración natural; sin embargo existen contaminantes que por sus grandes concentraciones y/o peligrosidad se constituyen un gran reto, estos alcanzan este ciclo debido a que el hombre a empleado el agua como vehículo para la eliminación de los residuos generados por sus actividad. El desarrollo económico descontrolado y el aumento de la población han incrementado de tal manera el impacto del hombre sobre la hidrosfera que ha superado ampliamente su capacidad de autodepuración y ha traído como consecuencia la pérdida de calidad y, por lo tanto, la disminución del agua como recurso.

La riqueza hídrica en Colombia está representada por la extensa red fluvial superficial que cubre el país, las favorables condiciones de almacenamiento de aguas subterráneas, la existencia de cuerpos lenticos, distribuidos en buena parte de la superficie total y la presencia de grandes extensiones de humedales, además de poseer líneas costeras con el océano pacifico y el mar Caribe (World Wide Fund for Nature, 2009).

Sin embargo muy a pesar de tener una riqueza hídrica envidiable por muchas otras regiones, el manejo que se da no es el más eficiente, sobre todo con respecto al saneamiento hídrico (recolección, transporte y tratamiento de los residuos líquidos) presenta atrasos significativos, pues sólo son tratadas el 12% (Cabrera, 2003) de las aguas residuales generadas. El desarrollo normativo del tema se presenta desde el enfoque de los servicios públicos a través de la ley 142 de 1994 (Congreso de la República-Colombia., 1994) que define el tratamiento de aguas

residuales como una actividad complementaria del servicio público domiciliario de alcantarillado, y desde el punto de vista ambiental en la ley 99 de 1993 (Congreso de la República-Colombia., 1993).

La contaminación de la corriente hídrica ocasionada por las descargas de aguas residuales de los habitantes de los centros urbanos se convierte en un perjuicio derivado del consumo de agua de estos habitantes. Del total de agua que llega a las residencias, comercios e industrias, parte es consumida y la mayor parte es evacuada por las redes de alcantarillado, que antes de descargarla a las corrientes de agua, debe ser tratada para evitar contaminación (Universidad EAFIT., 2004).

Es práctica común de las ciudades o municipios descargar sus aguas residuales sin tratamiento al cuerpo de agua más cercano y usualmente se dan mínimas consideraciones a las consecuencias ambientales principalmente por la falta de recursos económicos, como también por falta de conocimiento (Salas, H., 2000).

Generalmente, la contaminación de los cuerpos de agua está relacionada con los vertimientos de origen doméstico. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos. La determinación de parámetros básicos de contaminación bacteriológica, orgánica y química del agua de consumo y de vertido, requiere una serie de análisis dirigidos a conocer la calidad de éstas (Pinilla, C., 2003).

Uno de los vertimientos de origen doméstico más conocido es el aceite usado de cocina, que generalmente se va hacia los desagües de las casas, sin considerar que esto ocasiona daños físicos a las redes de alcantarillado (dentro y fuera de las viviendas) y mucho peor que contamina grandes volúmenes de agua debido a que este no se disuelve con facilidad en la misma; los océanos en este caso han sido utilizados como un receptáculo de desechos humanos, sin embargo, en términos generales no han sufrido mayores cambios, pues la composición química del mar se ha mantenido esencialmente igual por más de un millón de años (Salas, H, 2000).

Aún más, cuando se compara la enorme cantidad de materia orgánica y sedimentos llevados al mar por los ríos del mundo como resultado de procesos naturales, la contribución de aguas cloacales producidas por el hombre es pequeña. Una observación interesante sobre la poca importancia relativa de la materia orgánica fue hecha por el Dr. John D. Isaacs quien hizo notar que sólo la descarga fecal de las anchoas a las aguas costeras del sur de California era equivalente en contenido orgánico (demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos) a las aguas cloacales de alrededor de 90 millones de personas, y ésta es sólo una de los cientos de especies de vida marina (Salas, H., 2000).

En todas partes del mundo se están desarrollando propuestas para minimizar el impacto ambiental producido por los vertimientos de los aceites vegetales usados (AVU) a las redes de aguas de desechos municipales, vertederos, rellenos sanitarios y cuerpos de aguas naturales. Venezuela es una de los países que incurre a prácticas de reutilización de AVU y con los mismos poder producir algún producto de uso no contaminante y de bajo costo.

Un estudio investigativo realizado en Venezuela arrojó que estos AVU pueden utilizarse para producir un combustible ecológico no contaminante denominado BIODISEL, considerado como el combustible verde por los países europeos (Chamorro, et al., 2006).

En Santa Marta Magdalena-Colombia, existe un emisario submarino como mecanismo de disposición final de las aguas residuales de la ciudad, lo que conlleva a pensar que no se está generando contaminación al Mar Caribe; sin embargo, a estas aguas residuales se les remueve

únicamente sólidos flotantes antes de ser vertidas al mar (Metroagua S.A E.S.P., 2010), es importante resaltar que no se aplica ninguna técnica que permita la separación de las grasas que han sido vertidas desde miles de hogares y establecimientos (restaurantes), generando efectos negativos como los expuestos anteriormente.

Es práctica común de las ciudades costeras descargar sus aguas residuales sin tratamiento al cuerpo de agua más cercano o más conveniente y usualmente se dan mínimas consideraciones a las consecuencias ambientales principalmente por la falta de recursos económicos. Frecuentemente, las aguas residuales crudas se descargan en muy cerca de playas para recreo como ocurrió en el caso de la mundialmente famosa playa de Ipanema en Río de Janeiro, y como ocurre actualmente en o cerca de las playas de las ciudades costeras de Colombia. Los problemas asociados con las descargas de aguas servidas cerca del litoral son estéticos, pueden representar riesgos ecológicos y riesgos para la salud pública, y muchas veces traen consecuencias económicas al restringir el turismo (Salas, H., 2000).

Considerando lo anterior, en el presente trabajo se realizaron campañas educativas enfocadas a la recolección del aceite usado de cocina generado a diario en la comunidad del barrio Simón Bolívar (Santa Marta-Magdalena-Colombia) y a la protección del recurso hídrico, ideando forma de reutilizar el aceite sudado de cocina para la producción de velas y jabones.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general de la zona de estudio.

El departamento del Magdalena se localiza en la parte norte de Colombia (Figura 1) y a lo largo del río del que toma su nombre. Con una superficie 23.188 km², representa aproximadamente el 2% del territorio nacional y el 15,3% de la región de Caribe. Este departamento está conformado por 29 municipios y el Distrito Histórico y Turístico de Santa Marta, considerada la capital del Departamento, la cual posee una población de 447.860 habitantes y tiene una extensión de 239.935 hectáreas de la superficie terrestre de la Costa Caribe Colombiana (Romero, J., 2006).

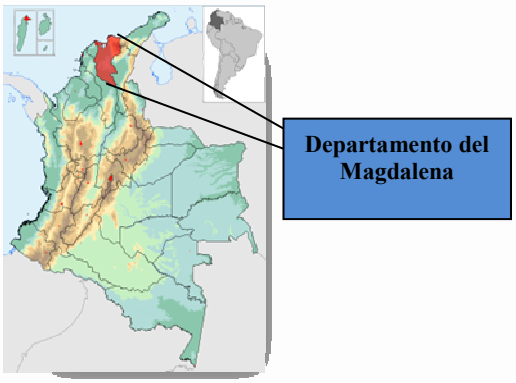


Figura 1. República de Colombia. Ubicación del Departamento del magdalena.

El presente estudio se desarrolló, en una zona cercana a la Universidad del Magdalena con el fin de fortalecer las bases de educación ambiental a personas de bajos recursos económicos y hacer más fácil la movilidad (zona de estudio – laboratorio Universidad) en el transcurso de la ejecución de las actividades del proyecto.

El barrio Simón Bolívar (Figura 2) es una zona que fue invadida hace ya más de 25 años, está ubicado a 11°13'45.85'' N y 74°11'18.08'' O, tiene aproximadamente 200 casas con un promedio de 5 a 7 habitantes por hogar de estrato 1; se selección de modo aleatorio 60 viviendas que corresponden a un 30 % de los hogares que existen en la comunidad con el fin de que la muestra fuese representativa para llevar a cabo este proyecto.



Figura 2. Vista desde arriba. Barrió Simón Bolívar. (Google Earth, 2010)

Campañas de Recolección.

Para la ejecución del proyecto se necesitaron botellas plásticas para ser utilizadas como dispositivos de recolección del aceite usado de cocina, las cuales se ubicaron en 60 viviendas del barrio Simón Bolívar. Para la recolección de las botellas se implementaron campañas en la Universidad del Magdalena, incluyendo oficinas y aulas de clases, donde se impartieron charlas y se dio a conocer el objetivo general del proyecto.

En las oficinas de la facultad de Ingeniería se instalo una caja de cartón, adornada con colores llamativos que incentivaban al personal administrativo y estudiantil a depositar botellas plásticas (Figura 3).



Figura 3. Recolección de Botellas.

Para la divulgación de esta recolección se utilizaron medios de comunicación, como páginas web, que invitaron a estudiantes de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad a la colaboración y apoyo para la ejecución del proyecto.

Encuestas y folletos.

En la primera visita realizada al Barrio Simón Bolívar, se obsequiaron 60 folletos alusivos a la protección del recurso hídrico, se exalto la importancia de abolir la práctica de vertimiento de aceite de cocina usado por el desagüe y se dieron a conocer las opciones de reutilizar el aceite y producir algo útil para uso diario, como es el caso de jabones y artículos decorativos como velas.

Se realizaron dos encuestas A y B para poder diferenciarlas al momento de tabular y analizar. La encuesta A contenía 11 preguntas, que determinaban datos personales de los encuestados como: edad, grado de escolaridad, entre otras, hasta la evaluación del conocimiento sobre temas ambientales (Figura 4).



Figura 4. Entrega de dispositivos de recolección (envases) y realización de encuestas.

La encuesta B se realizó dos meses después de iniciar el proyecto, la cual contenía 6 preguntas que evalúan el impacto generado luego de ejecutar las actividades del proyecto.

Recolección de aceite usado de cocina en el Barrio Simón Bolívar.

La primera recolección del aceite usado se realizó un fin de semana, con el objetivo de encontrar a las personas en cada una de las viviendas y no correr el riesgo de fallar en el intento de recoger todos los 60 dispositivos que se instalaron en cada una de las cocinas de las viviendas, el día que se realizaron las encuestas A.



Grafico 5. Recolección de aceite usado de cocina.

Para el día de la recolección, se entregaron de nuevo 60 botellas vacías y se ofreció una corta charla que resaltaba la importancia de continuar con el compromiso adquirido por cada uno de los representantes de hogar.

Luego de recolectar el aceite (Figura 5) fue dirigido al Laboratorio de Calidad de agua del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Magdalena donde se filtró (Figura 6) y se determinó el volumen.



Figura 6. Filtracion de aciete de cocina usado.

Elaboración de jabón.

Para la fabricación de jabón se dividieron los procedimiento de laboratorio en tres sesiones, para cada etapa se utilizaron 1.30 L de aceite de cocina usado debidamente filtrado.

En un Baker se tomó la misma cantidad de soda cáustica 1.30L a una concentración al 55%, se le añadió el aceite con mucha precaución con fin de evitar accidentes.

Posteriormente se mezcló con una espátula plástica durante un tiempo, siempre en el mismo sentido, hasta que la mezcla se tornó espesa. Luego se le agregó 50 gramos de colorante para grasa y 20 ml de esencia, se continuó agitando aproximadamente durante 30 minutos; una vez pasado ese tiempo, la mezcla se depositó en moldes (cuadrados y redondos), después de un 1 día se dejo reposar la mezcla sin moverla de lugar y cuando estuvo completamente sólida, se retiraron del molde y se les dio forma cuadrada, con un peso de 450 gramos.



Figura 7. Producto final.

Se dejaron los jabones durante 7 días envueltos en una toalla, con el fin de que el pH se estabilizará, para que de ese modo puedan estar en contacto con la piel sin causar ninguna reacción alérgica.

Elaboración de velas.

Para la fabricación de 60 velas se hizo necesario utilizar 4L de aceite de cocina usado, para la elaboración de cada una de las velas se llenó un frasco de compota (recipiente en Vidrio) con 100 ml de aceite y posteriormente se adicionó 100 gramos con sal de cocina.



Figura 8. Fabricacion de velas con aceite de cocina usado.

Se mezcla constantemente con una espátula plástica, agregando finalmente en cada frasco 3 mL de esencia y 2 gramos del colorante a la grasa. Finalmente se introdujo una mecha en el centro de la mezcla; como se puede observa en la figura 8.

Entrega de Incentivos.

Las viviendas escogidas para el desarrollo de este proyecto, contaban con la expectativa de recibir algo a cambio a su labor durante el desarrollo del proyecto; para cumplir con dicha expectativa a cada hogar se les hizo entrega de un jabón y una vela decorativa en las dos recolecciones de aceite usado que se realizaron en el sector.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la campaña realizada en la Universidad del Magdalena se recolectaron 120 botellas plásticas y 60 frascos de compota (vidrio).
Después de aplicada la encueta A, se obtienen los siguientes resultados.

En la tabla 1 se observa el número de personas a las cuales se les aplico encuestas con el fin de medir el conocimiento ambiental que poseen, para ello se tomaron 60 representante de cada uno de los hogares, las personas encuestadas se encuentran en un rango de edad de 15 a 70 años.

Tabla 1. Total de personas Instruidas y encuestadas según intervalo de edad.

Intervalo de Edad	Personas instruidas y encuestadas
15 - 20 años	7
21-30 años	9
31- 50 años	20
51-70 años	24
Total	60

Como se aprecia en la figura 9 solo el 10% de las personas encuestadas cuentan con un grado de escolaridad superior, cifra preocupante porque el 36 % han cursado la educación básica primaria, esto se debe a que el sector pertenece a un estrato socioeconómico bajo (estrato 1) donde las oportunidades de acceder a la educación superior son bajas por carencias económicas y/o sociales; estos resultados respaldan la necesidad de hacer campañas de educación ambiental, ya que el grado de conocimiento de cultura ambiental va ligado al conocimiento intelectual del individuo. (Novo, M, 1996)

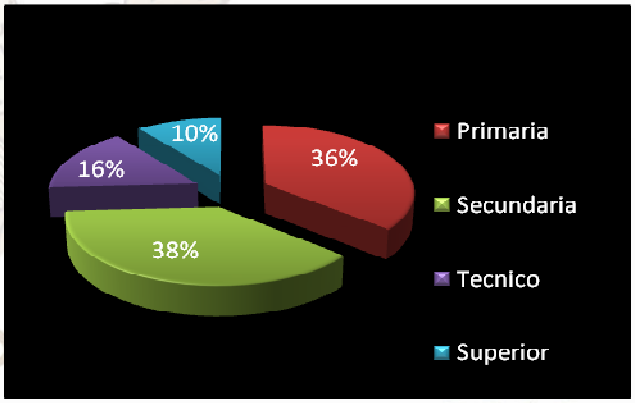


Figura 9. Grado de escolaridad en el Barrio Simón Bolívar.

De las 60 personas encuestadas, el 62 % expresaron no estar satisfechos (figura 10) con las condiciones ambientales en las que se encuentra la ciudad de Santa Marta, esto evidencia que existen problemáticas reales que la comunidad está percibiendo y que se necesita la ejecución de proyectos que generen soluciones efectivas.

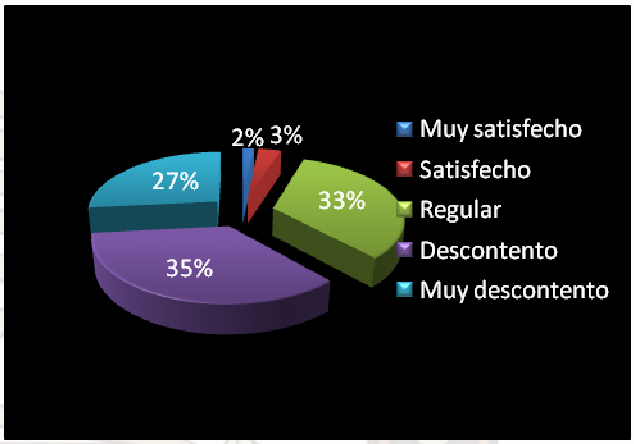


Figura 10. Porcentajes de satisfacción con respecto a las condiciones ambientales en las que se encuentra la ciudad.

Una de las preguntas realizadas a los individuos fue si contribuía con la protección al ambiente (Figura 11), a esta el 73 % de los encuestados respondieron que sí y el 27% reconoció que no procuran realizar actividades en pro del ambiente; cuando se les pregunto como contribuían con la protección a los recursos naturales expresaron actividades (Figura 12) como ahorro de agua (49 %), reciclaje (33 %), reforestación (2 %) y evita arrojar residuos en las calles (16 %).

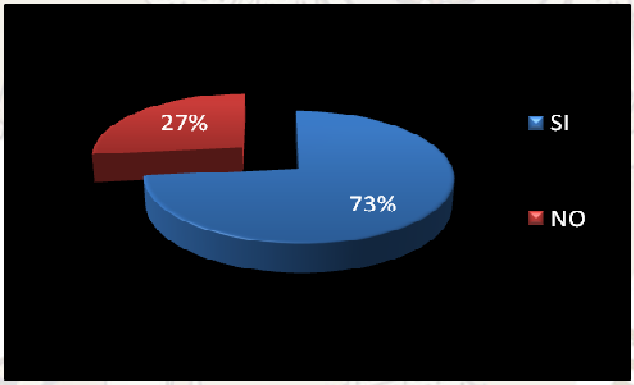


Figura 11. Contribuye con la protección al ambiente.

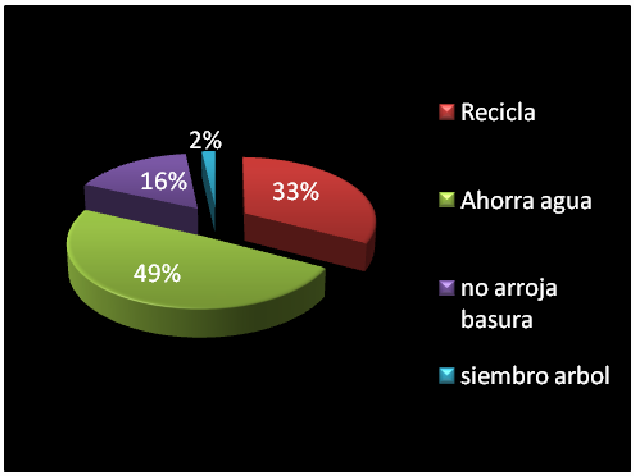


Figura 12. Actividades que contribuyen a la preservación del medio natural.

Según la pregunta: los recursos que mejor se conservan en el sector (Figura 13), el 30 % de los encuestados consideraron que ninguno, el 30% considero al recurso agua, el 20 % al aire, 10% el suelo y 10% las zonas verdes.

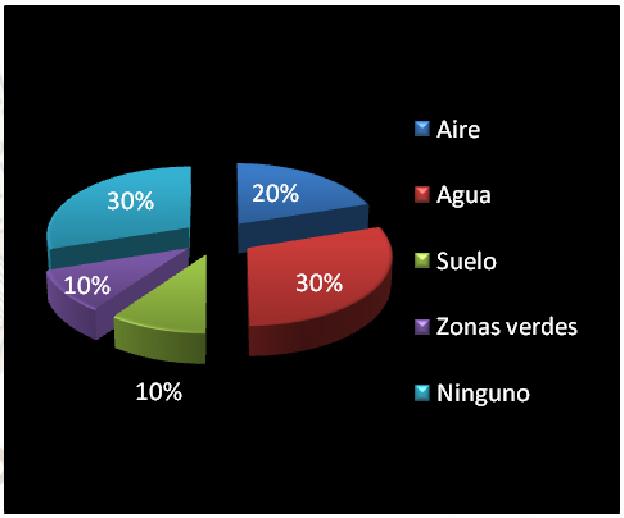


Figura 13. Recurso más conservado en el sector.

La figura 14 permite conocer que tanto saben los habitantes acerca de la problemática que se trata en este proyecto. El 88 % de los individuos respondieron que el recurso hídrico puede ser protegido desde el hogar, solo una persona respondió que no se podía proteger y seis manifestaron no saber nada acerca del tema.

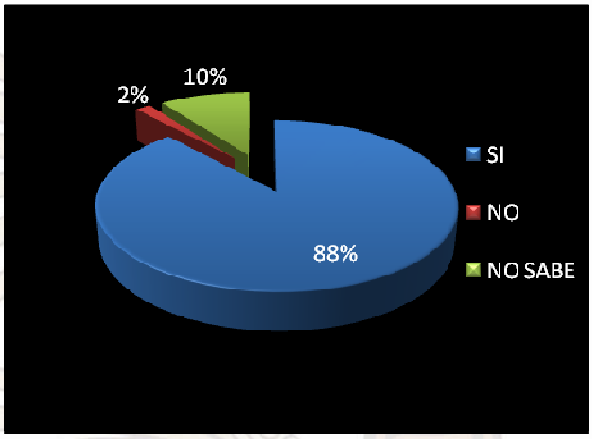


Figura 14. Se puede proteger el recurso hídrico desde el hogar.

La figura 15 presenta las respuestas proporcionadas por los encuestados a la pregunta ¿Cual es la disposición final que recibe en su hogar el aceite usado en la cocina?; el 40 % expreso que era enviado al relleno sanitario, el 30% manifestó que lo vertía por el desagüe y el 30% restante respondió que no realiza ninguna disposición.

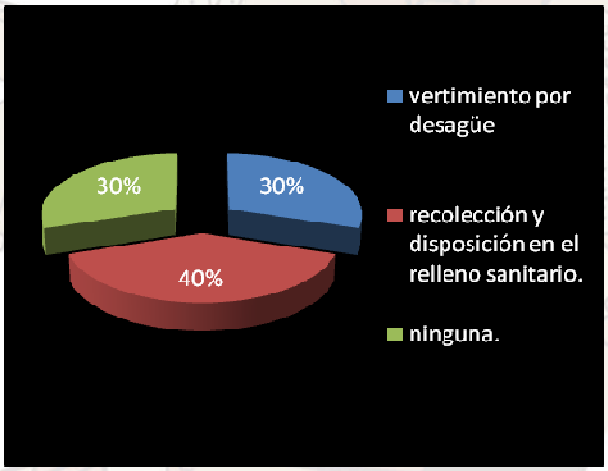


Figura 15. Disposición final de los aceites de cocina usados.

A la pregunta ¿Conoce usted algo acerca de la contaminación generada al agua por el vertimiento de aceite de cocina por el desagüe? (Figura 16), el 72 % respondió no conocer la afectación que genera la disposición del aceite usado de cocina por el desagüe y sólo el 28 % manifestaron conocer el impacto.

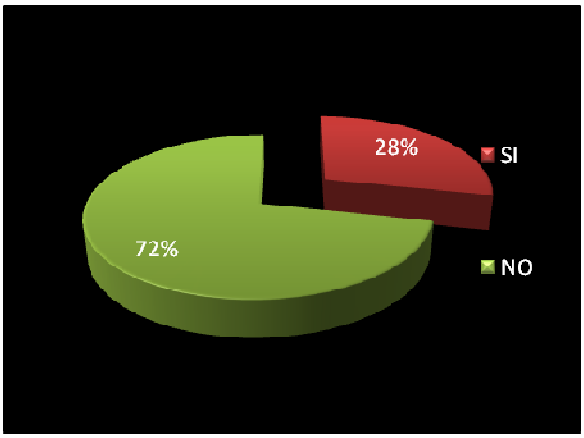


Figura 16. Porcentajes del conocimiento acerca de la contaminación generada por el vertimiento de aceite de cocina usado.

En la figura 17, el 90% de los encuestados se comprometió a recolectar el aceite sin ningún tipo de insistencia, el 10 % restante accedió hacer parte de la actividad aunque al principio se mostraron un poco dudosos; gracias a la labor de los educadores ambientales se logro que este 10 % finalmente se comprometiera con la actividad de recolección del aceite usado.

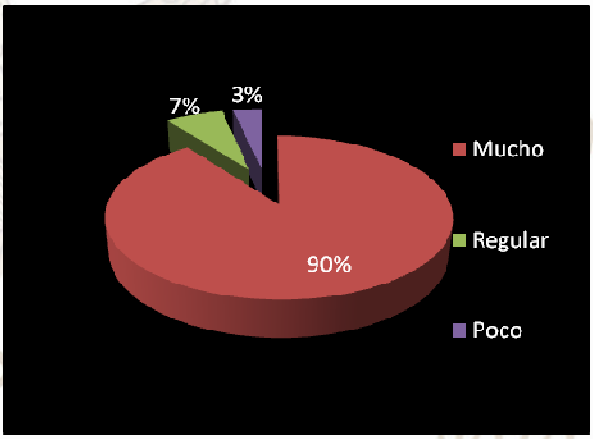


Figura 17. Compromiso de recolección.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en la encuesta B; que tenía como fin medir los logros alcanzados referentes a la campaña de educación ambiental; es necesario destacar que sólo se logró aplicar la encuesta B a 53 hogares de los 60 inicialmente definidos, debido a que los 7 restantes fue imposible aplicar la encuesta por

motivo de traslado de domicilio o de ausencia de personas en la vivienda.

La figura 18 manifiesta que el 98% de las 60 personas encuestadas aprendieron acerca del daño ambiental causado al recurso hídrico por la práctica incorrecta de verter el aceite usado de cocina al desagüe y el 2 % dice no haber aprendido del tema.

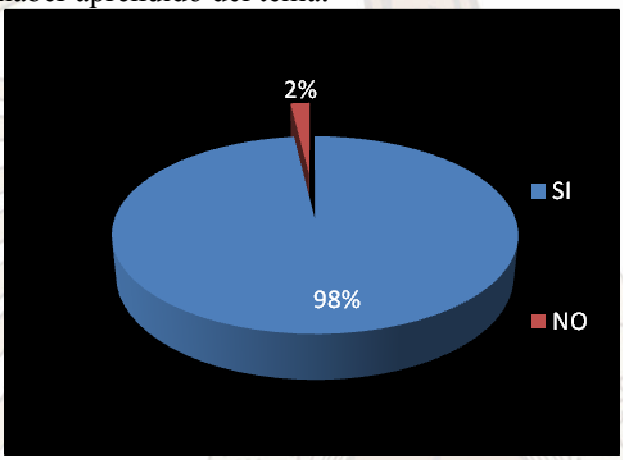


Figura 18. Aprendió acerca del daño generado por el aceite al recurso hídrico.

En la figura 19 se muestra que el 87% de los encuestados no volverá a llevar a cabo la disposición incorrecta de verter el aceite por el desagüe; sin embargo un 13% respondió que continuaría con dicha práctica. Estas respuestas no son más que la evidencia de que la educación ambiental es una labor que debe ser intensa y constante; sería equivocado pensar que el 100 % de las personas instruidas cambiarían totalmente su cultura ambiental.

Cabe resaltar que para que se presente un cambio total de pensamiento no solo se hace necesario campañas de educación ambiental informal (fuera del las aulas de clase) sino que también deben existir bases de educación formal (Aulas educativas) ya que estos dos sistemas deben ser complementarios (Novo, M.,1996); como se había mencionado anteriormente, esta comunidad presenta deficiencias en educación (Figura 9) por lo cual lograr que el 100 % de los individuos que hicieron parte del proyecto tengan un cambio total de pensamiento, las campañas deben ser más duraderas y acompañadas de programas de educación más extensos para la comunidad que no alcanza el nivel de educación básica secundaria.

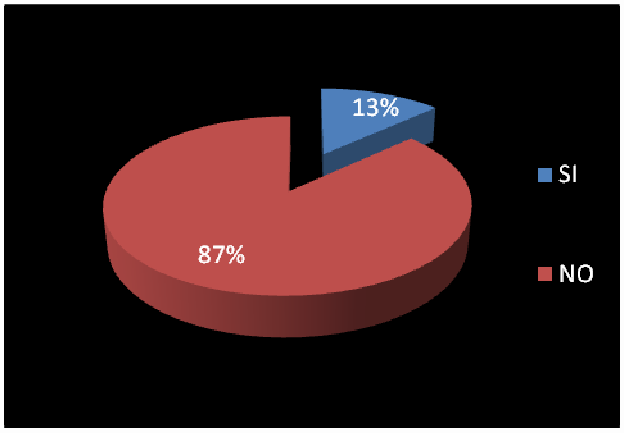


Figura 19. Seguirá vertiendo el aceite en el desagüe.

La figura 20, se muestra que el 92 % de los representantes de los hogares llevaron a cabo la recolección por que deseaban contribuir con la protección del recurso hídrico y tan solo el 2 % de estos lo hicieron por simple compromiso con el proyecto.

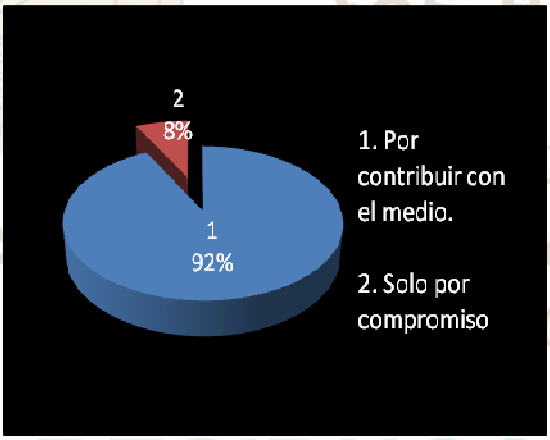


Figura 20. Aprendió acerca del daño generado por el aceite al recurso hídrico.

Para las preguntas:

- ¿Le interesaría aprender técnicas para reciclar el aceite usado de cocina en su propio hogar?

- ¿Cree que proyectos como estos con fines ambientales deben realizarse más a menudo en la comunidad?,
- ¿Quedó satisfecho con la labor realizada por los estudiantes de la Universidad del Magdalena?

La respuesta SI, tuvo un porcentaje de 100 % en todas las preguntas anteriores; Estas 3 preguntas arrojan resultados muy interesantes ya que muestran que las personas quieren ser parte de una etapa futura del proyecto y que la labor realizada por los estudiantes (charla educativa, entrega de envases, aplicación de encuestas, recolección del aceite y la entrega de incentivos) fue realizada de forma satisfactoria para ellos.

La tabla 2 se muestra la cantidad total de aceite recolectado en los hogares escogidos aleatoriamente del barrio Simón Bolívar.

Tabla 2. Valores y cantidades de la recolección de las botellas en las dos etapas.

Envases.	Primera Etapa	Segunda Etapa
Envases recolectados	41	38
Envases no entregados	19	22
Total de Aceite (L)	15	10
Total de Sedimentos (g)	300	100

La figura 16 presenta la cantidad de envases que los habitantes entregaron con aceite de cocina usado y los que no entregaron debido a que no realizaron recolección; se puede analizar que la primera recolección fue mucho más exitosa ya que se recogieron mas envases y el volumen recolectado de aceite (tabla 2) fue mayor en comparación con la segunda recolección, podría pensarse que en futuras recolecciones la cantidad de envases entregados posiblemente disminuya; sin embargo, para confirmar esta afirmación tendría que continuarse con el proyecto para analizar el comportamiento de los individuos enfrentándose a un periodo mayor de educación y de recolección.

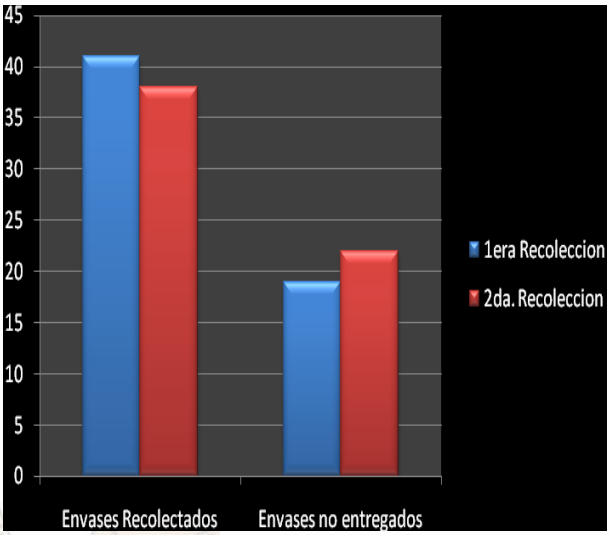


Figura 16. Envases recolectados Vs no entregados.

En la tabla 3 se presenta la cantidad de productos obtenidos a partir del aceite recolectado; 1 L fue utilizado para pruebas preliminares (ensayos) y con los otros 24 L se obtuvieron 120 velas y 120 jabones estos fueron entregados como incentivo durante las dos recolecciones; a cada hogar se le proporcionó un total de 2 jabones y 2 velas.

Tabla 3. Cantidad de productos obtenidos del aceite recolectado.

	Primera etapa	
Cantidad	Jabón	Velas

de aceite recolectado (L)	Vol. (L)	Producción	Vol. (L)	Producción
15	8	60	4	60
10	8	60	4	60
Total: 25	16	120	8	120

IV. CONCLUSIONES

Con este proyecto se logró evitar que se realizara el vertimiento de aproximadamente 25 L de aceite usado de cocina en el recuso hídrico.

Se brindó educación ambiental en acciones para la protección del recurso hídrico a 60 habitantes del barrio Simón Bolívar.

Con los resultados obtenidos es importante tener en cuenta que se debe fortalecer la educación en el sector, que las campañas deben ser continuas y con un seguimiento constante y duradero.

Se logró que el 100% de los individuos encuestados y educados crearan expectativas sobre la manera de gestionar adecuadamente en el hogar residuos generados a diario, en este caso el aceite usado de cocina; debido a que los habitantes del sector manifestaron el deseo de aprender a fabricar productos (velas decorativas y jabón) en sus propias viviendas.

V. RECONOCIMIENTOS

La ejecución de este proyecto fue posible gracias a la colaboración de estudiantes de V semestre del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Magdalena, al coordinador del laboratorio de Calidad de Agua Isaac Romero. A nuestras familias por el apoyo invaluable, amigos y compañeros de carrera profesional por sus contribuciones.
Finalmente reiteramos nuestro agradecimiento a la comunidad del barrio Simón Bolívar por comprometerse y cumplir con las actividades propuestas desde el inicio del proyecto.

Gracias a Dios ante todo por habernos dado la oportunidad de ser invitados a tan honorable evento.

VI. REFERENCIAS

- Benefits of water efficienty. United States Environmental Protection Agency. [En línea]. (2009) [consultado 10 mar. 2010]. Disponible en <http://www.epa.gov/watersense/watereffiency/benefits of water efficiency.html >
- Pinilla, C. Indicadores de contaminación fecal en aguas. En: Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. RIPDA- CYTED© CYRA-UAEM Cap. 20. México. 2003. pp. 30-239 < http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302007000200003&lng=es&nrm=iso>
- Congreso de la República de Colombia. **ley 142 de 1994-**Servicios Públicos Domiciliario. [En línea]. (1994) [consultado 07 Feb. 2010]. Disponible en <http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1994/ley 0142 1994.html>
- Congreso de la República de Colombia. **ley 99 de 1993-**Fundamentos de la política ambiental Colombiana [En línea]. (1993) [consultado 07 Feb. 2010]. Disponible en <http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1993/ley 0099 1993.html>
- Chamorro H., Seijas A., Macías C., Sostegni C. Propuesta de minimización del impacto ambiental producido por vertidos de aceites vegetales usados. [En línea]. (2006). [consultado 18 Feb. 2010]. Disponible en

<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=78201304>

- Chávez, M. Usos y abusos del recurso agua. [En línea]. (2007). [consultado 18 Feb. 2010]. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=64408505>

- Helmer, R. & Hespanhol, I. Control de la contaminación del agua: guía para la aplicación de principio relacionado con la calidad del agua. CEPIS. [En línea]. (1999) [consultado 18 Feb. 2010]. Disponible en <http:bases.bireme.br/cgibin/wxislind.exe/aih/online/?IsisScript=iah.xis&src=google&base=REPIDIS&land=p&nextAction=InK&exprSearch=4304&indexSearch=I>

- Metroagua S.A E.S.P. Beneficios y eficiencia del Emisario Submarino de la ciudad de Santa Marta. [En línea]. (2010) [consultado 07 mar. 2010]. Disponible en <http://www.metroagua.com.co/Emisario.htm>

- Novo, M. Educación Ambiental Formal y no Formal: dos sistemas complementarios. Revista iberoamericana de educación. Organización de estados iberoamericanos para la educación, ciencia y cultura. [En línea]. (1996) [consultado 11 Feb. 2010]. Disponible en <http://www.rieoei.org/oeivir/rie11a02.pdf>

- Revista Ambientum. Consumo de agua en porcentajes. Revista On-line de Medio Ambiente. [En línea]. (2005). [consultado 07 mar. 2010]. Disponible en <http://www.ambientum.com/revistanueva/2005-09/aguas.htm>

- Romero J. Movilidad social, educación y empleo: Los retos de la política económica del departamento del magdalena. Banco de la República Colombia, Centro de Estudios Económicos Regionales. [En línea]. (2006). [consultado 07 mar. 2010]. Disponible en < http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/documentos/DTSER-74.pdf>

- Salas H. Emisarios submarinos alternativa viable para la disposición de aguas negras de ciudades costeras en América Latina y el Caribe. [En línea]. (2000). [consultado 18 Feb. 2010]. Disponible en <http://bvsde.per.paho.org/bvsaca/e/fulltext/alternat/alternat.pdf>

- Universidad EAFIT. Saneamiento hídrico en Colombia: Instituciones y situación actual. [En línea]. (2004). [consultado 07 mar. 2010]. Disponible en <www.eafit.edu.co/NR/rdonlyres/...4C2D.../No18Articulo993.pdf >

- United States Environmental Protection Agency. Reuse + Recycling=waste Reduction. [En línea]. (2004). [consultado 07 mar. 2010]. Disponible en <http://www.epa.gov/osw/education/pdfs/sp-school.pdf>

- World Wide Fund for Nature. Una riqueza sin par. [En línea]. (2009). [consultado 07 mar. 2010]. Disponible en <http://www.wwf.org.co/about_us/biodiversidad>

Presentación
Antecedentes
Extensos
Sede
Contacto

5. Tratamientos (mecánicos, biológicos, térmicos y similares).

- Remoción de contaminantes presentes en un lixiviado maduro por oxidación química.
- Eliminación de la forsu obteniendo hidrógeno, con bacterias específicas y con un consorcio de bacterias nativas.
- Evaluación del proceso de estabilización-deshidratación de los lodos de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A.
- Degradacion de los Residuos Sólidos del cigarrillo por el crecimiento de Pleurotus ostreatus y Trametes versicolor.
- Tratamiento de lixiviados mediante su dilución y recirculación en residuos sólidos urbanos.
- Factibilidad de estabilización alcalina de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la UAM-A.
- Efecto de la degradación acelerada de RSU en su capacidad buffer.

Remoción de Contaminantes Presentes en un Lixiviado Maduro por Oxidación Química

[1]Marbella Amador Cruz, [2]Rosa María Tapia Cruz y [3]Gabriel Pineda Flores
Centro Mexicano para la Producción más Limpia-IPN.
D.F.,México
[3]email: gpienda@ipn.mx

Resumen

Los lixiviados de residuos sólidos urbanos (LRSU) se producen por la liberación del agua que contienen al ser compactados. Los LRSU contienen compuestos como benceno, fenol, hidrocarburos poliaromáticos, bifenilos policlorados, furanos, dioxinas cloradas, plaguicidas, metil mercurio; y metales pesados. Estas propiedades hacen que los LRSU sean contaminantes potenciales de diferentes ambientes. Para tratar estos lixiviados se han aplicado diferentes sistemas que involucran procesos fisicoquímicos o biológicos, con los cuales se ha conseguido reducir la materia orgánica entre 47 y 62%. Con el objetivo de aumentar este porcentaje de eliminación y obtener un LRSU con menor concentración de contaminantes, se aplicó peróxido de hidrógeno en combinación con fierro, para reducir el contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo totales presentes en una muestra de LRSU del relleno sanitario "Bordo Poniente". Se determinó el pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), nitrógeno y fósforo totales al lixiviado sin tratar, así como un análisis espectrofotométrico UV-visible con un intervalo de 150 hasta 700 nm. El tratamiento consistió en aplicar diferentes proporciones de peróxido de hidrógeno al 30% más Fe_2SO_4. Con una relación de 1 parte de Fe_2SO_4 y 5 partes de peróxido de hidrógeno se presentó una reducción de la DQO de 92.25%. El nitrógeno total se redujo en 80.43% al aplicar una relación de 1 parte de Fe_2SO_4 por 4 partes de peróxido. En el caso del fósforo total su reducción fue del 100%, con la aplicación de la relación más baja de Fe_2SO_4 y peróxido (1:2).

Palabras Clave – Lixiviados, residuos sólidos, oxidación química.

Abstract

The Solid Municipal Waste Leachates (SMWL) are produced for the liberation of the soluble materials presents in the wastes. The SMWL present compounds like benzene, phenol, poly-aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls, furans, chlorinated dioxins, pesticides, metil mercury; and heavy metals like cadmium, chrome, copper, nickel and lead. The above makes the SMWL be potential pollutants of soils, superficial water and groundwater. For the SMWL treatment, different physicochemical or biological systems have been applied; the ones produced the reduction of organic matter between 47 and 62%. In order to increase this percentage of elimination and obtaining a SMWL with minor pollutants concentration, we applied hydrogen peroxide in combination with iron, for to reduce the content of organic matter, nitrogen and phosphorous presents in a sample of SMWL collected from the "Bordo Poniente" landfill. The pH, Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD), nitrogen and phosphorous present in the leachate without treatment, were evaluated. Also a spectrophotometric analysis with an interval of 150 to 700 nm was realized. The treatment consisted in applying different proportions of 30% hydrogen peroxide and Fe_2SO_4 on the leachate. With a relation of 1-part Fe_2SO_4 and 5 parts of hydrogen peroxide, a reduction of the 92.25% of COD was determined. The total nitrogen reduction was of 80.43% to apply 1-part of Fe_2SO_4 plus 4-parts of peroxide. In the case of total phosphorous, his reduction was of 100%, after the application of the lower relation of Fe_2SO_4 and hydrogen peroxide (1:2).

Keywords – Leachates, solid wastes, chemical oxidation.

I. INTRODUCCIÓN

En el D.F. y los municipios aledaños se generan diariamente 23,523 toneladas de residuos sólidos urbanos, las cuales se depositan en el relleno sanitario "Bordo Poniente" ubicado en la zona oriente de la ciudad de México, en los límites de

[1]marbella_55@yahoo.com.mx, [2]roma_tapia@hotmail.com

la delegación Gustavo A. Madero y los municipios de Netzahualcóyotl y Texcoco. La mayoría de los residuos depositados en el relleno sanitario no reciben una selección previa para separar materiales útiles, de manera que contienen una gran concentración de materiales orgánicos y agua, los cuales al depositarse en la superficie del relleno comienza su descomposición y forman un líquido de color negro conocido como lixiviado de residuos sólidos urbanos (Renou *et al*., 2008). Esta sustancia percola a través de los desechos cargándose a su paso de microorganismos, sustancias químicas minerales y orgánicas, lo que ocasiona que los lixiviados sean una mezcla de diferentes sustancias con alto potencial contaminante para el suelo y los reservorios de agua subterránea (Lefebvre and Moletta, 2006). Además de lo anterior, por las características del suelo en donde se ubica el relleno Bordo Poniente, el lixiviado se enriquece con carbonatos de sodio y calcio lo que aumenta su salinidad hasta igualarse con la del agua de mar (Araya-Farias and Bazinet, 2006, Díaz-Cruz and Barceló, 2008).

Se ha demostrado que los compuestos presentes en los lixiviados producen daños y alteraciones al ADN de organismos acuáticos, también los derrames de lixiviados causan la pérdida de cultivos y proliferación de fauna indeseable (Ellouze *et al*., 2008). Por estas razones, es necesario la implementación de un sistema de tratamiento de lixiviados que disminuya la cantidad de compuestos tóxicos y que permita que sean más asimilables por el ecosistema ayudando a disminuir su impacto negativo. En el relleno sanitario Bordo Poniente existe una planta de tratamiento que aplica ácido sulfúrico concentrado como método de oxidación para el lixiviado. Este método presenta limitaciones ya que solo actúa sobre la materia orgánica, dejando intactos a los metales pesados y la salinidad del lixiviado.

El objetivo del presente trabajo se centro en reducir el contenido de materiales orgánicos de una muestra de LRSU recolectada en el relleno sanitario "Bordo Poniente", por la aplicación de un tratamiento oxidativo que combina peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo y caracterización inicial del lixiviado.

Se realizó una visita al relleno sanitario Bordo Poniente para la recolección del lixiviado. Con el apoyo del personal del relleno, se visito la etapa II y se recolectaron 20 L de lixiviado identificado como "maduro" por el personal del relleno. El lixiviado se colocó en recipientes de plástico con tapa de cierre hermético de 2 L de capacidad y se transportaron al laboratorio en un recipiente con hielo seco. En el laboratorio se refrigeraron a 4°C hasta su uso.

Se determinó el pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), nitrógeno y fósforo totales al lixiviado antes de recibir los tratamientos de oxidación química. También se realizó un barrido espectrofotométrico con un intervalo de 150 hasta 700 nm. Para determinar la DQO se utilizó el kit HACH 25651-15, el cual emplea el reactor para digestión de muestras DRB-200 marca HACH. Para determinar nitrógeno y fósforo totales se emplearon los kits HR 1-100 y 10072 HR marca HACH respectivamente. La DBO se determinó siguiendo el método descrito en la norma NMX-AA-028-SCFI-2001, el oxígeno disuelto se midió siguiendo el método volumétrico descrito en la norma NMX-AA-012-SCFI-2001.

Oxidación química del lixiviado.

La materia orgánica se eliminó con una combinación de peróxido de hidrógeno al 30% más Fe_2SO_4, ambos en diferentes proporciones. Se utilizaron vasos de precipitados de 500 mL para adicionar el lixiviado más el volumen de la solución de Fe_2SO_4 por probar. Con la ayuda de una bureta calibrada se adicionó el H_2O_2 al 30% posteriormente se midió el peróxido residual y la reducción de la DQO, nitrógeno y fósforo totales.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla I se muestran los resultados de la caracterización inicial del lixiviado.

Tabla I. Caracterización inicial del lixiviado

Parámetro	Concentración (mg/L, excepto pH)
DQO	4156.15
pH	8.14
DBO_5	398.51
Nitrógeno total	1533.46
Fósforo total	131

Los valores de DQO y DBO indican contenido de materia orgánica, este valor es muy alto comparado con otros residuos líquidos como agua residual sin tratar (200 mg/L de DBO_5 como valor máximo, Ellouze *et al*., 2008). El nitrógeno y fósforo totales también son muy altos, los cuales superan los valores máximos permitidos para residuos líquidos aplicados descargados en ríos, embalses naturales y aguas costeras, los cuales son de 60 y 30 mg/L respectivamente (NOM-001-SEMARNAT-2006).

En la figura 1 se muestra el análisis espectrofotométrico del lixiviado maduro.

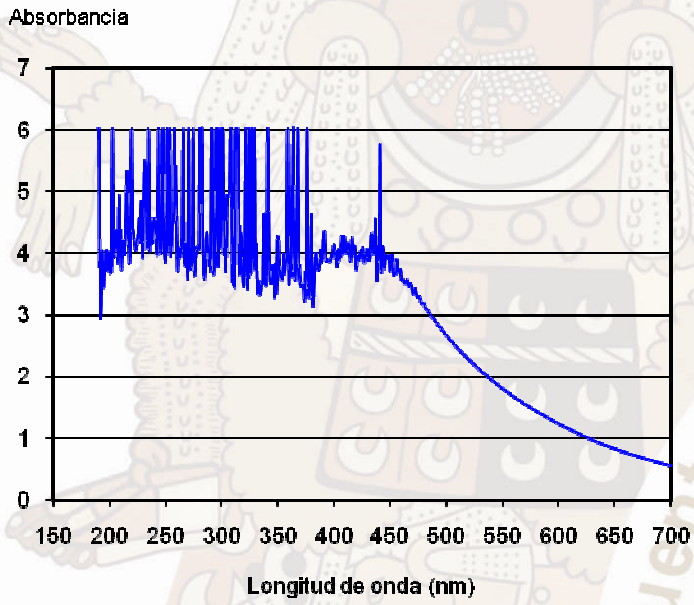


Figura 1. Barrido espectrofotométrico del lixiviado maduro.

De acuerdo a la figura anterior, la mayor respuesta de absorbancia se presenta en el intervalo de la luz ultravioleta (200-350 nm), esto indica que el lixiviado es abundante en compuestos con numerosas estructuras aromáticas cíclicas, lo corresponde a un lixiviado maduro con alto contenido de material orgánico recalcitrante.

En las figuras 2 y 3 se muestra la reducción de DQO y nitrógeno total después de aplicar el tratamiento con peróxido de hidrógeno y Fe_2SO_4.

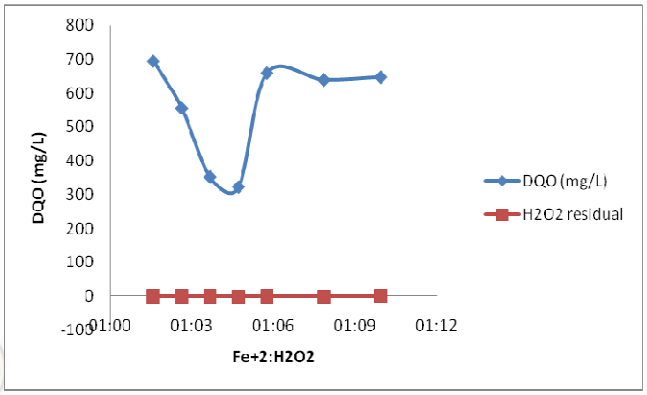


Figura 2. Reducción del contenido de materia orgánica del lixiviado maduro.

Se aprecia que la DQO se redujo en una proporción máxima al aplicar una relación 1 parte de lixiviado por 5 partes de peróxido (figura 2). El nitrógeno total se reduce en su mayor proporción al aplicar una relación de 1 parte de lixiviado por 4 partes de peróxido de hidrógeno (figura 3). Al considerar como 100% de DQO y nitrógeno total la cantidad inicial determinada (4156.15 y 1533.46 mg/L respectivamente), el porcentaje de reducción de estas variables fue de 92.25% para la DQO y de 80.43% para el nitrógeno total.

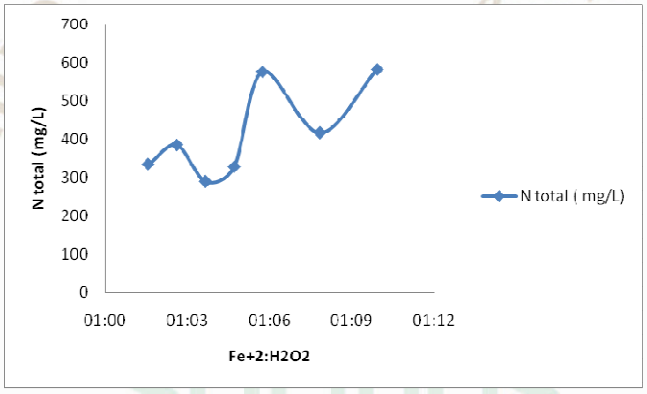


Figura. 3. Reducción del contenido de nitrógeno total del lixiviado maduro.

En el caso del fósforo total este fue no detectable (menor a 0 mg/L), desde la aplicación de la relación más baja de lixiviado y peróxido (1 parte de lixiviado por 2 partes de peróxido). Su reducción fue del 100%.

IV. CONCLUSIONES

El tratamiento aplicado con peróxido de hidrógeno y Fe_2SO_4 es útil para reducir de manera contundente la materia orgánica, nitrógeno y fósforo del lixiviado de residuos sólidos urbanos maduro. El tratamiento aplicado puede tener un impacto ambiental importante al reducir tres variables que ocasionan que el lixiviado sea un material muy contaminante.

V. RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del proyecto titulado "Reducción de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en lixiviados de residuos sólidos urbanos del relleno sanitario bordo poniente", clave SIP-20090416. Marbella Amador Cruz y Rosa María Tapia Cruz participaron en el proyecto mencionado como becarias del Programa Institucional de Formación de Investigadores del IPN (PIFI).

VI. REFERENCIAS

Araya-Farias M. and Bazinet L. (2006). Effect of calcium and carbonate concentrations on anionic membrane fouling during electrodialysis, Journal of Colloid and Interface Science 296, 242–247.

Díaz-Cruz M.S. and Barceló D. (2008). Trace organic chemicals contamination in ground water recharge, Chemosphere 72, 333–342.

Ellouze M., Aloui F. and Sayadi S. (2008). Detoxification of Tunisian landfill leachates by selected fungi, J. Hazardous Materials 150, 642–648.

Lefebvre O. and Moletta R. (2006). Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review, Water Res. 40, 3671-3682.

NOM-001-SEMARNAT-2006. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Renou S., Givaudan J.G., Poulain S., Dirassouyan F. and Moulin P. (2008). Landfill leachate treatment: review and opportunity. J. Hazardous Materials 150, 468-493.

Eliminación de la FORSU obteniendo hidrógeno, con bacterias específicas y con un consorcio de bacterias nativas

Evaristo Ávila-Vera [1,2*], Suilma M. Fernández Valverde[1*], María Fernanda Márquez Quintana[2], Manuel Ortiz Fosado[3]

[1]Departamento de Química del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Apdo. Postal 18-1027, México D. F. 11801, México.
[2] Departamento de Ciencias Básicas y [3]Departamento de Metal Mecánica
Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n, Ex-Rancho La Virgen, Metepec, Edo. de México.
*smfv@nuclear.inin.mx; evaristovae@yahoo.com.mx

Resumen

En este trabajo se presenta la evaluación de los residuos sólidos generados en la cafetería del Instituto para la obtención de hidrógeno. Los residuos orgánicos se separaron y se homogeneizaron por el método de cuarteo (NMX-AA-015-ECOL-1985 y NMX-AA-022-ECOL-1985), en las muestras obtenidas. Para la generación de hidrógeno se utilizó un consorcio específico de bacterias de las especies *Clostridium butyricum y Enterobacter cloacae* y además se evaluó la producción del mismo a partir de las bacterias formadoras de esporas, obtenidas de excretas de vaca y que pueden producir el hidrógeno a partir de materia orgánica. Las bacterias nativas se aislaron por tratamientos térmicos y resiembras sucesivas en viales de 25 mL en medio de tioglicolato de sodio con rezasurina y se introdujeron en el biorreactor, tomando muestras aproximadamente cada dos horas durante 20 horas y se realizaron los análisis correspondientes del hidrógeno producido. Lo mismo se hizo con el consorcio de bacterias específicas se encontró que se genera un 30% más de hidrogeno con el consorcio de bacterias, que con las bacterias nativas.

Palabras clave: Cambio climático, Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, Hidrógeno

Abstract

In this work the organic fraction of the solid waste produced in the Technologic Institute of Toluca cafeteria were evaluated for hydrogen production. Periodic samples were taken and homogenized by quarter method (NMX-AA-015-ECOL-1985 y NMX-AA-022-ECOL-1985). For hydrogen production a specific co-culture of *Clostridium butyricum and Enterobacter cloacae* was used and, also the native sporing bacteria obtained from cow excretes as they can produce hydrogen from organic matter. The bacteria were obtained by consecutive thermal treatments, isolation and incubation in 25mL bottles with sodium tioglicolate media and resazurine, when the anaerobic conditions were attaint the biorreactor was inoculated, gases samples were obtained approximately every 2 hours until 20 hours, and hydrogen was determined. The same procedure was done for the co-culture. The co-culture of *C. butyricum and E. cloacae* produced 30% more hydrogen than the native bacteria obtained from cow excretes.

Key Words: Climate change, Organic fraction of urban solid waste, Hydrogen.

I. INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de combustibles como el carbón, madera, gas natural y diversos derivados del petróleo, en las actividades cotidianas para la generación de energía, ha traído como consecuencia diversos problemas ambientales como son: el calentamiento global, nubes de humo y el cambio climático, por lo que es necesario utilizar alternativas energéticas amigables con el ambiente (Das y Veziroglu, 2008; Fernández-Valverde, 2007). Por otra parte, también se tiene la contaminación ocasionada por los residuos orgánicos que diariamente son depositados en rellenos sanitarios, tiraderos a cielo abierto o en el peor de los casos en tiraderos clandestinos. En esos lugares, los residuos se descomponen por la acción metabólica de los microorganismos presentes en el medio generándose como productos biogás y lixiviados (Hernández, 2003), si los lugares no cuentan con los sistemas apropiados de recolección del biogás y el tratamiento de lixiviados se generan problemas ambientales como la contaminación visual, proliferación de insectos, ratas, perros, además de microorganismos patógenos, olores indeseables, riesgo de incendios y contaminación de mantos freáticos.(Tchobanoglous, 1994).

La utilización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) para la generación de energía y la utilización posterior de los residuos producidos como fertilizantes, es una buena alternativa ya que se contribuye a depender menos de los combustibles fósiles, se le da un buen uso a los residuos orgánicos (Tchobanogluos y Ron, 2000) al producir un fertilizante y se diminuyen los problemas de contaminación por metano en los tiraderos de basura.

El hidrógeno es considerado un excelente portador de energía algunas ventajas en relación a los combustibles fósiles son las siguientes: a) tiene 2.75 veces más poder calorífico que los combustibles fósiles, b) es amigable con el ambiente, sus productos de combustión son únicamente agua y energía, c) puede utilizarse en prácticamente en todas las actividades que requieran combustible como es en la industria, el hogar, el transporte, entre otros (Fernández-Valverde, 2007) y d)permite almacenar las energías alternas como la solar y eólica que son intermitentes .

El hidrógeno se puede obtener de la degradación de la FORSU utilizando diversos microorganismos como pueden ser algas, cianobacterias, bacterias fotosintéticas o bacterias que se reproducen en la oscuridad (Levin *et. al., 2004*). Dentro de estas últimas se encuentran principalmente a las bacterias de los géneros *Clostridium sp.* y *Enterobacter sp.,* las cuales dentro de sus procesos metabólicos, utilizan principalmente carbohidratos como substrato para producir más bacterias, hidrógeno, bióxido de carbono y ácidos orgánicos como principales subproductos (Kawagoshi *et. al.,* 2005). El objetivo del presente trabajo fue comprar la cantidad de hidrógeno generado en un biorreactor de cuatro litros funcionando con un consorcio de *Enterobacter cloacae* y *Clostridum butyricum* y comparar su desempeño con otro biorreactor funcionando en las mismas condiciones pero con un consorcio de bacterias nativas obtenidas de excremento de vaca (He y Kong, 2004; Fan *et. al.*, 2004; Masset *et. al.,* 2010).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Substrato

Se recolectaron cada semana los residuos generados en la cafetería del Instituto Tecnológico de Toluca (ITTol), se homogeneizaron, se cuantificaron y caracterizaron por el método de cuarteo, (Norma, 1985). Se prepararon muestras de 2kg, se molieron y se esterilizaron en autoclave durante 20 minutos a 121 ºC.

2.2 Medio de Cultivo

Se utilizó una solución conteniendo 10.5 g/L de K_2HPO_4, 4.5 g/L de KH_2PO_4, 1 g/L de $(NH_4)_2SO_4$ y 0.001 de resarzurina.

2.3 Inóculo

Se utilizaron dos inóculos diferentes, el primero formado de dos cepas de bacterias puras, una de *Enterobacter cloacae* y otra de *Clostridum butyricum y* el segundo fue un consorcio de microorganismos nativos que se obtuvo de excremento de vaca.

Al calentar la muestra de excremento de vaca se eliminaron a las bacterias que inhiben la producción de hidrógeno, observándose algunas bacterias esporuladas, cocos, bacilos y filamentosos. En la figura 1 se presenta una fotografía de los microorganismos presentes en la muestra de excremento de vaca, después de aplicarle en tratamiento térmico, a 105 ºC, durante dos horas para eliminar las bacterias no deseadas.

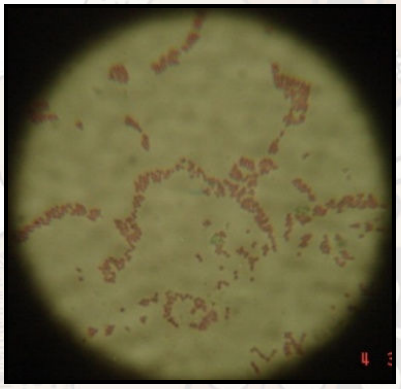


Figura 3.5. Fotografía de los microorganismos en excretas de vaca

Posteriormente, 0.1 mL de cada una de las tres cepas se inocularon, cada una de ellas, en un vial de 25 mL conteniendo 10 mL del medio de cultivo. Para establecer las condiciones anaerobias, los viales se calentaron y se introdujo nitrógeno hasta que el color de la solución cambió de rosa a amarillo después se incubaron a 37ºC durante 24 horas y se guardaron en refrigeración.

2.3 Generación de hidrógeno en los biorreactores.

Se usaron dos biorreactores de cuatro litros, a cada uno se agregaron dos litros de la solución de fosfatos junto con 200 g de substrato de residuos de la cafetería, se cerraron herméticamente y se introdujo nitrógeno durante 5 minutos, se colocaron en un baño con agitación a 37ºC y 80 rpm. En uno de los biorreactores se inocularon 10 mL de las bacterias nativas de excremento de vaca y en el otro 5 mL de cada una de las cepas de las bacterias *E. cloacae y C. butyricum*. Se tomaron muestras de 40 mL para el análisis de hidrógeno y 3 muestras se cuantificaron con un cromatógrafo de gases Varian 3600, con detector TCD y una columna empacada de acero inoxidable: Porapaq N mesh 80/100. Para el conteo de bacterias se tomaron 2 microgotas (obtenidas con jeringa para insulina) y se colocaron en la cámara Petroff-Hausser y se contaron en un microscopio de contraste de fases.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los residuos de la cafetería del ITTol, estaban compuestos de 14.5% de materiales reciclables como vidrio, plástico y unicel, mientras que el 85.5% restante fueron residuos orgánicos. En la tabla 1 se muestra la composición de los residuos orgánicos de la muestra.

Tabla 1. Composición de los residuos producidos en la cafetería del ITTol.

Residuos	Porciento en Peso (%)
Productos de maíz	17.98
Huevo	2.70
Aguacate	.98
Mamey	.98
Plátano	1.02
Carnes frías	3.77
Mango	4.02
Lechuga	10.19
Pan	58.36

Total	100

Como se puede observar en la tabla 1, la muestra esta constituida en su mayoría de residuos de pan y productos de maíz, lo que representa una elevada cantidad de almidón, lo que hace a la muestra un excelente alimento para las bacterias productoras de hidrógeno usadas en este trabajo, ya que se desarrollan de manera excelente en presencia de carbohidratos (Ávila-Vera *et. al.,* 2008).

En la tabla dos se presentan las concentraciones de hidrógeno en el biogás generado al degradar la materia orgánica, utilizando los dos sistemas bacterianos.

Tabla 2. Comparación de hidrógeno producido en los dos sistemas

Consorcio de bacterias		Bacterias nativas	
tiempo	mmolH2/Lsol	Tiempo	mmolH2/Lsol
0	0.00	0	0.00
1.10	0.00	1.25	0.00
2.55	0.00	3.05	0.00
5.25	0.00	5.35	0.00
6.45	1.30	7.10	0.00
9.05	0.10	9.35	3.62
11.20	13.28	11.5	9.46
13.15	14.86	13.45	10.91
15.15	14.15	16.00	10.66
17.15	15.34	17.25	10.51
19.25	15.36	19.55	10.02
35.25	15.31	45.05	7.66
55.00	14.54	64.35	5.86
78.25	13.71	88.00	3.66

El tiempo de adaptación del consorcio formado por las bacterias *E. cloacae* y *C. butyricum* fue de 5.6 horas, mientras que para el consorcio de bacterias nativas fue de 7 horas. Después de que se adaptaron las bacterias al medio, ambos sistemas entraron en la etapa exponencial, donde el consorcio de las dos bacterias produjo un máximo de hidrógeno de 15.36 mmol de hidrógeno/litro de solución, y las bacterias nativas generaron un máximo de 10.91 mmol de hidrógeno/litro de solución. Con estos resultados se infiere que el consorcio formado por las bacterias *E. cloacae y C. butyricum* funciona mejor que las bacterias nativas obtenidas de excremento de vaca para producir hidrógeno.

IV. CONCLUSIONES

Los residuos orgánicos generados en la cafetería del ITTol., son un buen sustrato para generar hidrógeno ya que el 76.34% esta conformado por residuos de pan y maíz, que representan altas cantidades de almidón metabolizable por las bacterias de los dos sistemas.

Con las bacterias presentes en el excremento de vaca se puede generar hidrógeno al realizarle un tratamiento térmico adecuado para eliminar otras bacterias en forma de cocos, bacilos y filamentosos y dejar las bacterias de los géneros *Clostridium sp., Enterobacter sp.,* generadoras de hidrógeno.

El consorcio formado por las bacterias *E. cloacae y C. butyricum* fue mejor para degradar el sustrato de residuos utilizado, ya que produjo un 30% más de H_2/L que el consorcio de bacterias nativas.

V. RECONOCIMIENTOS

Se agradece a Manuel Álvarez Garibay, Cristina Domínguez, Edgar Daniel Cortés y Yair Lozano por su valiosa participación en la realización de este trabajo.

VI. REFERENCIAS

Ávila-Vera Evaristo, Alcántara David, Hernández Berriel María del Consuelo, Fernández Valverde Suilma M. y Molina Ruvalcaba Gleibys I. 2008. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE DESECHOS DE FRUTAS Y VERDURAS. Trabajo presentado en el VIII congreso Internacional de la Soc. Mexicana del Hidrógeno. México D.F. 24 al 26 de septiembre.

Das D. Veziroglu T. N., 2008. Advances in biological hydrogen production processes. International Journal of Hydrogen Energy. **33**. 6046-6057.

Fan Y. Li C. Lay J-J. Hou H. Zfiang G. Zhang G. 2004. Optimization of initial substrate and pH levels for germination of sporing hydrogen–producing anaerobes in cow dung compost. Bioresource Technology. **91**, 189-193.

Fernández-Valverde Suilma M. 2007. Hydrogen: The Ecological Fuel for Mexican Future. in Towards a Cleaner Planet. Energy for the Future. ED. J. Klapp, L. Cervantes-Cota, J.F. Chavez-Alcala. Springer.

He G.Q. Kong Q. Ding L.X. 2004. Response surface methodology for optimizing the fermentation medium of *Clostridium butyricum*. Letters in Applied Microbiology. **39.** 363-368.

Hernández Berriel M. del C. González López G. I. Alvarado A. Ramírez G. Ávila-Vera E. 2003. Efecto del contenido de humedad en la producción de biogás a partir de la degradación de residuos sólidos municipales de Metepec a Nivel piloto. Conferencia Científica Internacional, MAS XXIII 25-28 de noviembre. UC Marta Abreu de las Villas. Cuba.

Kawagoshi Y. Hino N. Fujimoto A. Nakao M. Fujita Y. Sugimura S. and Furukawa K. 2005. Effect of Inoculum Conditioning on Hydrogen Fermentation and pH Effect on Bacterial Community Relevant to Hydrogen Production. Journal of Bioscience and Bioengineering. **100**, 524-530.

Levin D. B. Pitt L. Love M. 2004. Biohydrogen production Prospects and limitations to practical application. International Journal of Hydrogen Energy. **29**,173-185.

Masset Julien, Hiligsmann Serge, Hamilton Christopher, Beckers Laurent, Franck Fabrice, Thonart Philippe. 2010. Effect of pH on glucose and starch fermentation in batch and sequenced-batch mode with a recently isolated strain of hydrogen-producing *Clostridium butyricum.* International Journal of Hydrogen Energy. **35**, 8. 3183-3928.

Norma Mexicana. 1985. NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales, muestreo, Método de Cuarteo. Secretaria de comercio y fomento industrial.

Tchobanoglous G, Ron C. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones, Mc Graw Hill, Santa fe Bogota Colombia, pp.270-271.

Tchobanoglous George. 1994. Gestión integral de residuos sólidos. McGraw Hill. Distrito Federal, México.

Evaluación del proceso de estabilización-deshidratación de los lodos de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A

M. Beltrán Villavicencio, A. González Aragón, R. Villegas Ramos, A. O. Pérez Alva, L. Medina Tovar
Universidad Autónoma Metropolitana - Azacapotzalco
Av. San Pablo N°180, Col. Reynosa Tamaulipas, Azcapotzalco, 02000, D.F. México
mbv@correo.azc.uam.mx / gaa@correo.azc.uam.mx

Resumen

En este trabajo se presenta la evaluación del sistema de estabilización y deshidratación de los lodos residuales que son generados en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales (PPTAR) de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, el cual, consiste en dos unidades; la primera es el acondicionamiento y estabilización con cal ($Ca(OH)_2$), que se compone de un tanque estabilizador y dosificador respectivamente; y la segunda es la deshidratación mecánica que utiliza un filtro prensa de operación manual. Para la estabilización primero se trasladaron los lodos residuales desde el sedimentador primario al tanque destinado al tratamiento alcalino en el cual se dosifica 1.82 kg ($Ca(OH)_2$)/kg sólidos totales (ST) en los lodos residuales. Una vez que el pH se conservó por arriba de un valor de 12 unidades y se mantuvo estable por 2 horas, se realizó la deshidratación. Se cuantificó la generación de biosólidos por día y se elaboró un balance de masa de sólidos en la PPTAR. Se obtuvieron 3 series de muestras: la primera de lodos residuales, la segunda de biosólidos y la tercera de biosólidos deshidratados, a las cuales se les determinaron los análisis establecidos por la NOM-004-SEMARNAT-2003. La tercera serie fue sometida a tres monitoreos en un lapso desde 7 hasta 36 días para corroborar el tratamiento de estabilización y además que permitiera relacionar el comportamiento del pH con el tiempo por medio de un análisis de regresión, del cual el más adecuado fue el modelo raíz cuadrada-X.

Palabras Clave – lodos, biosólidos, estabilización, deshidratación.

Abstract

This paper illustrates the evaluation of the stabilization and handling system of the sludge produced at the wastewater treatment pilot plant (WWTPP) of the Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Azcapotzalco. System comprises a chemical conditioning and stabilization unit (lime dosing and mixing stabilization tank), and a filter press manually operated as a dewatering unit. Sludge collected at the high rate settling tank is transferred to the stabilization unit where lime was added at a rate of 1.82 kg ($Ca(OH)_2$)/kg total solids (TS) to rise pH to 12 units. Sludge and lime mixture was kept agitated to maintain pH above 12 at least for 2 hours, and then the stabilized sludge was dewatered with the filter press. Biosolids daily production was measured and WWTPP mass balance was carried out. 3 series of samples were obtained: raw sludge; stabilized sludge (biosolids); and dewatered biosolids, which were analyzed according with NOM-004-SEMARNAT-2003. Dewatered biosolids series were monitored from 7 to 36 days after treatment in order to verify that they kept the characteristics required to be considered a stabilized residue. A correlation procedure comparing the variations of stabilized sludge's pH vs. time after stabilization process was also performed; it was found that a square root-X model showed the best correlation factor.

Keywords – sludge, biosolids, stabilization, dewateing.

I. INTRODUCCIÓN

Se le llama lodo residual al residuo sólido, semisólido o líquido que se genera en los tratamientos de aguas residuales (WEF, 1993); así mismo se le llama biosólido al lodo que ha sido sometido a procesos de estabilización y que por su contenido en materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puede ser susceptible de aprovechamiento (DOF, 2003).

La estabilización de lodos se lleva a cabo para reducir la presencia de organismos patógenos, eliminar olores desagradables y reducir, inhibir o eliminar su potencial de putrefacción. La supervivencia de los organismos patógenos, la proliferación de olores y la putrefacción se producen cuando se permite que los microorganismos se

desarrollen de manera incontrolada sobre la fracción orgánica o volátil del lodo (WEF, 1993).

La estabilización alcalina es el proceso mediante el cual se añade suficiente cal viva (óxido de calcio, CaO) o cal hidratada (hidróxido de calcio, $Ca(OH)_2$) o equivalentes para elevar el pH durante un tiempo mínimo preestablecido (DOF, 2003). La dosis se obtiene mediante la experimentación, ya que existen muchos factores (como el contenido de sólidos y la alcalinidad) que la pueden modificar.

En México el principal problema en lo que respecta a los lodos es el alto contenido microbiológico que presentan (Barrios *et al*., 2000). A pesar de esta problemática, gran parte de los lodos generados son descargados al drenaje o son desechados sin ningún tipo de tratamiento previo en presas, terrenos, o en las mismas fuentes de suministro, y en el mejor de los casos han sido dispuestos en lagunas y rellenos sanitarios. Tomando en cuenta lo anterior se genera una doble problemática. Por una parte el vertido de lodos en sitios inadecuados puede generar severos problemas de contaminación, y por otro lado se están desperdiciando las propiedades benéficas de los lodos que pudieran ser aprovechadas en la agricultura o el mejoramiento de los suelos (Castrejón *et al*., 2001).

La norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2003, establece para lodos y biosólidos, las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Además, los biosólidos están clasificados en tipo: excelente y bueno, en función del contenido de metales pesados y en clase A, B y C en función del contenido de microorganismos patógenos y parásitos. El aprovechamiento de biosólidos queda establecido en función del tipo y clase, con un contenido de humedad hasta del 85%.

La aplicación de los biosólidos en terrenos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos queda sujeto a lo establecido en la Ley Federal de Sanidad Vegetal (DOF, 2003).

La Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana cuenta con una Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales (PPTAR), la cual da tratamiento a una fracción de las aguas residuales generadas en esta universidad y produce agua tratada para riego que además sirve como instalación de demostración y prácticas para los alumnos de la licenciatura y posgrado en ingeniería ambiental.

El tren de tratamiento básico de la PPTAR consta de un pretratamiento, coagulación-floculación, sedimentación de alta tasa, filtración rápida con antracita y desinfección. Además de estos procesos, se encuentran unidades de tratamiento avanzado que posteriormente se unirán como parte complementaria del tren de tratamiento y dentro de las cuales se encuentra el tratamiento para lodos residuales.

El sistema de lodos en la PPTAR consiste de dos unidades: la primera es el acondicionamiento y estabilización con cal ($Ca(OH)_2$) y la segunda es la deshidratación con filtro prensa de operación manual (González, 2001).

En este proyecto se realizó una evaluación del sistema de tratamiento de lodos y se dejó en funcionamiento el equipo de estabilización y deshidratación de lodos como parte complementaria dentro de las operaciones que se realizan en dicha planta.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se presenta la metodología utilizada para estabilizar y deshidratar los lodos residuales generados en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-Azcapotzalco (PPTAR).

Muestreo y caracterización de los lodos residuales y los biosólidos

El objetivo del muestreo fue básicamente el de obtener un número de muestras que fuera representativo de la generación de lodos y que permitiera comparar la calidad de éstos antes y después de la estabilización. La estabilización de los lodos residuales se llevó a cabo utilizando como reactivo el $Ca(OH)_2$ en dos períodos con una duración de dos semanas cada uno, se les caracterizó como se indica en la tabla 1.

Se tomaron tres series de cinco muestras cada una. La primera fue para realizar la caracterización general de acuerdo con la metodología esta-

blecida por la NOM-004-2003; la segunda se utilizó para realizar los análisis microbiológicos como se muestra en la tabla 2; y la tercera serie, recolectada al finalizar la deshidratación de los biosólidos, fue usada para la determinación del contenido de metales pesados, nutrientes y materia orgánica.

Tabla 1. Frecuencia de determinaciones para los 2 períodos de estabilización/semana

Parámetro	Muestras	Análisis	Frecuencia	Intervalo de medición
pH	2	>10	>5	Cada 10 minutos
Sólidos suspendidos	2	2	>1	
Sólidos totales	2	2	>1	Antes y después de la estabilización
Sólidos volátiles	2	2	>1	Antes y después de la estabilización
Coliformes fecales	2	2	2	Antes y después de la estabilización
Coliformes totales	2	2	2	Antes y después de la estabilización
Salmonella spp	2	1	2	Antes y después de la estabilización

Tabla 2. Metodología empleada para la caracterización.

Parámetro	Técnica	Método	Referencia
pH	EPA 9045c	Potenciométrico	EPA, 2004
Sólidos totales		Gravimétrico	NOM-004-SEMARNAT-2003
Sólidos suspendidos		Gravimétrico	NOM-004-SEMARNAT-2003
Sólidos volátiles		Gravimétrico	NOM-004-SEMARNAT-2003
Metales pesados	EPA 3051A		NOM-004-SEMARNAT-2003
Coliformes fecales	NMX-AA-113-99	Filtración por membrana	NOM-004-SEMARNAT-2003
Coliformes fecales	NMX-AA-113-99	Filtración por membrana	NOM-004-SEMARNAT-2003
Salmonella spp.	NOM-AA-42-1987	Número más probable	NOM-004-SEMARNAT-2003
Huevos de helmintos		Flotación por diferencia en densidades	NOM-004-SEMARNAT-2003
Materia orgánica		Walkley Black	Jackson, 1976
Nitrógeno	Cualitativa	Test kit HI 3896	HANNA, 2001
Fósforo	Cualitativa	Test kit HI 3896	HANNA, 2001
Potasio	Cualitativa	Test kit HI 3896	HANNA, 2001

El muestreo de lodos residuales se realizó trasladándolos desde el sedimentador primario hasta el tanque estabilizador a un flujo de 6.66 L/min hasta llegar a un volumen de 240 L. Una vez lleno el tanque y previa medición del pH, se tomaron muestras de 1 L en envases de vidrio en un lapso no mayor a 2 horas. Se realizaron las pruebas correspondientes para la primera serie. Al término de la estabilización se procedió de forma similar para el muestreo y análisis de los biosólidos del tanque estabilizador (segunda serie). Después de la deshidratación de los biosólidos en el filtro prensa se recolectaron aproximadamente 400 g de los biosólidos obtenidos en la deshidratación en frascos de vidrio (previamente medido el pH), se dejaron secar a temperatura ambiente para realizar los análisis que les corresponden a la tercera serie (metales pesados, nutrientes y materia orgánica).

Estabilización de los lodos residuales y deshidratación de los biosólidos de la PPTAR

El objetivo principal de esta etapa consistió en elevar el pH de los lodos hasta un valor superior a 12 unidades, y mantenerlo en ese nivel durante 2 horas, con la alimentación de una lechada de cal, la que se preparó previamente con $Ca(OH)_2$ y se aplicó a una tasa de 0.15 kg/L.

El procedimiento para la estabilización de lodos y la deshidratación posterior fue el siguiente (figura 1 y figura 2):

Traslado de los lodos residuales desde el sedimentador primario hasta el tanque estabilizador.

Ajuste de la bomba dosificadora y medición el pH sin interrupción de la agitación a un tiempo de contacto entre los lodos y el $Ca(OH)_2$ de 15 minutos.

1. Dosificación con $Ca(OH)_2$ y agitación continua de los lodos hasta alcanzar un pH de 12.50 + 0.2 unidades.
2. Interrupción de la estabilización sin dejar de agitar los biosólidos por un par de horas más. Monitoreo de pH al transcurrir un reposo de los biosólidos de 2 horas y muestreo.
3. Bombeo de los biosólidos del tanque estabilizador hacia el filtro prensa y operación una presión de 1.125 kg/cm^2 y por un tiempo no mayor a 45 minutos.
4. Inyección de un flujo de aire para eliminar el exceso de líquido a los biosólidos ya filtrados dentro de las tortas del filtro prensa, con una presión de 3 kg/cm^2 por 3 períodos de 10 minutos.
5. Muestreo del líquido filtrado y su caracterización.
6. Recolección de los biosólidos deshidratados del filtro prensa.



Figura 1 Tanque dosificador y estabilizador de la planta piloto

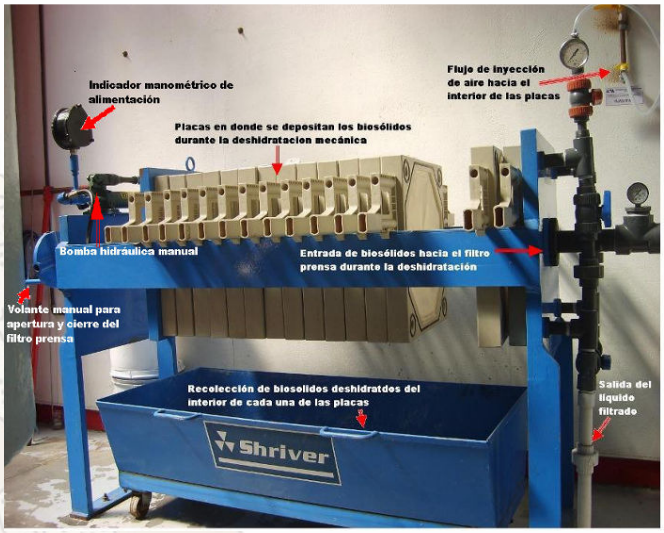


Figura 2 Filtro prensa

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.1 Caracterización de los lodos residuales y los biosólidos

La caracterización de los lodos residuales y los biosólidos se presenta en la tabla 3, mientras que en la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de metales pesados.

La estabilización alcalina con lechada de cal incrementó el pH hasta que el valor se encontró alrededor de 12.5, el valor promedio obtenido fue de 12.35, el cual resultó bastante estable.

La cantidad de sólidos volátiles en general indica una fracción importante de materia orgánica presente en los lodos residuales, una sedimentación que requiere de un tiempo aproximado de entre 4 a 5 horas y en todas las pruebas se encontraron índices volumétricos entre 970 a 990 mL/L en un tiempo de 1 hora aproximadamente. En los biosólidos resultantes se incrementó el contenido de sólidos totales y suspendidos, mientras que el contenido de materia orgánica (fracción volátil) disminuyó.

Los coliformes totales y fecales, así como *la salmonella spp*. fueron eliminados en su totalidad. La materia orgánica disminuyó, resultado de la incorporación de la cal. En el caso de los nutrientes, el nitrógeno se mantuvo igual, mientras que con respecto al fósforo y al potasio éstos bajaron sus contenidos de, medios, a bajos, por el mismo motivo.

Se comprobó que la estabilización alcalina demostró ser favorable para el tratamiento de los lodos generados en la PPTAR, porque eliminó el

contaminante principal que corresponde al indicador de contaminación fecal y microorganismos patógenos, además de que la reducción de nutrientes es relativamente baja. El color resultante es beige y no se percibe olor desagradable; antes de la deshidratación tienen una consistencia semilíquida y al finalizar, semisólida. El tiempo de sedimentación es mucho menor ya que sólo tarda unos minutos antes y después de la deshidratación. El índice volumétrico que presentan en 1 hora está entre 900-930 mL/L

Tabla 3 Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos y los biosólidos

Parámetro	Lodos	Biosólidos
pH (unidades)	7.11 ± 0.09	12.35 ± 0.14
Sólidos totales (mg/L)	16 216.67 ± 2 056.54	35 495 ± 2 040.73
Sólidos suspendidos (mg/L)	15 433.0 ± 1 872.61	3 750 ± 2 167.56
Sólidos totales volátiles (mg/L)	8 543. 30 ± 1 677.27	30 533.33 ± 2 706.74
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	6 700 ± 1 801.11	3 516.67 ± 1 591.74
Coliformes totales (UFC/ gST)	$1.04x10^7 \pm 1.90x10^6$	0
Coliformes fecales (UFC/ gST)	$7.84x10^6 \pm 1.75 x10^6$	0
Salmonella spp. (NMP/ gST)	350 ± 120.5	0
Huevos de helmintos (NH/gST)	< 1	ND
Materia orgánica (%)	33.95% ± 6.92	10.27% ± 0.9528
N	Bajo - Trazas	Bajo- trazas
K	Medio - Alto	Bajo-medio
P	Medio	Medio-bajo

1. UFC: Unidades formadoras de colonias.
2. NMP: Número más probable
3. NH: Número de huevos de Helminto

Tabla 4 Comparación entre los límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos que establece la NOM-004 y los valores obtenidos (NOM-004, 2002).

Metal (mg/kg)	Lodos	Biosólidos	Excelente (NOM-004)	Bueno (NOM-004)
Aluminio	721.24 ± 0.29	263.92 ± 0.17	-	-
Arsénico	< 0.001	< 0.001	41	75
Cadmio	6.15 ± 0.0.9	6.16 ± 0.12	39	85
Cromo	11.37 ± 0.10	6.55 ± 0.10	1 200	3 000
Cobre	371.97 ± 0.13	111.36 ± 0.13	1 500	4 300
Plomo	27.23 ± 0.78	4.38 ± 1.17	300	840
Mercurio	<0.001	<0.001	17	57
Níquel	32.99 ± 0.11	21.52 ± 0.17	420	420
Zinc	626.92 ± 0.15	185.17 ±0.11	2 800	7 500

Los lodos residuales están arriba de la clasificación C de la NOM-004-2003 en cuanto a coliformes fecales en un 25.48% y en salmonella spp en un 16.66%, sin embargo, en el número de huevos de helmintos que se encontró es menor a un huevo de helminto por gramo en base seca de lodo. Con respecto a los resultados microbiológicos fue muy notorio constatar que este parámetro es el principal contaminante identificado en los lodos residuales generados en la PPTAR.

Al finalizar el tratamiento de estabilización alcalina con $Ca(OH)_2$, en los biosólidos no se encontró ningún tipo de crecimiento que mostrara la presencia de indicadores de contaminación fecal o microorganismos patógenos, ubicándolos como biosólidos clase A. En el líquido obtenido al deshidratar a los biosólidos utilizando el filtro prensa el comportamiento fue muy similar.

Se cumplió satisfactoriamente la finalidad de la estabilidad alcalina lo que da posibilidades para su disposición.

En cuanto a la concentración de metales pesados, en la tabla 4 se muestra una comparación con los límites que establece la NOM-004-SEMARNAT-2003 lo que permite clasificarlos como excelente.

1.2 Estabilización de los lodos residuales

La estabilización alcalina se realizó en condiciones muy similares durante los dos períodos de experimentación y de acuerdo a los resultados obtenidos las dosis utilizadas resultan por arriba de valores reportados en la literatura técnica, esto se debe a la consistencia de los lodos y que además de estabilizarlos, de manera conjunta se estaba neutralizando la alcalinidad del agua contenida en éstos interfiriendo significativamente en los resultados de la experimentación.

La tabla 5 muestra el resumen estadístico para las dosis aplicadas a los lodos residuales durante la experimentación con la relación base seca de $Ca(OH)_2$/sólidos totales de lodo. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado y valor del coeficiente de curtosis estandarizado están dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal, además se expresa gráficamente la distribución y el sesgo en la dispersión de los datos en la figura III.1 con un diagrama de caja y bigotes.

En la figura 3 el diagrama de caja y bigotes muestra el 50% de las dosis de cal que fueron aplicadas se encuentran dentro del cuadro, el cual representa los cuarteles superior e inferior. Los valores máximos y mínimos en cada dosis se indican en las líneas horizontales de los extremos de la vertical y la media está representada en la línea vertical dentro de la caja que tiene un valor de 1.82 kg de $Ca(OH)_2$/kg de ST lodo, la cruz de color rojo es la media muestral.

Tabla 5 Resumen estadístico calculado a las dosis de kg $Ca(OH)_2$/kgST en el lodo.

Parámetro estadístico	$Ca(OH)_2$/ST de lodo (kg/kg)
F	5
Media	1.82
Varianza	0.006
Desviación estándar	0.08
Mínimo	1.74
Máximo	1.93
Rango	0.19
Asimetría típica	0.40
Curtosis tipíca	-0.34

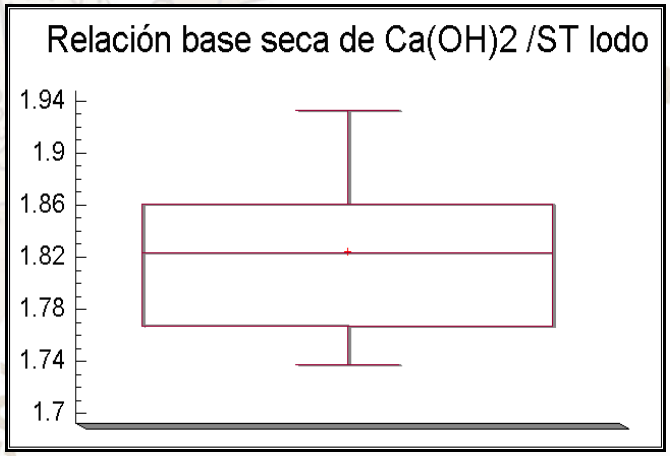


Figura 3 Diagrama de caja y bigotes de la relación de kg de $Ca(OH)_2$/kg de ST lodo

1.3 Estimación de la generación de biosólidos deshidratados con el filtro prensa y valoración de pH

Para la estimación de los biosólidos deshidratados en el filtro prensa se realizó un cálculo con la masa obtenida, para partir de un total con el fin de mostrar un porcentaje con base al período de experimentación que permitiera tener una aproximación de la generación, tomando en consideración el total de muestras obtenidas

De las figuras 4(a) y 4(b) se muestra que en promedio se extrajeron en promedio 34 kg de bio-

sólidos, así mismo el diagrama de caja y bigotes muestra que la media en esta generación es cercana a los 35 kg y una se tiene una media muestral de 33 kg, lo cual es una considerable cantidad de biosólidos que requieren de un reuso y una disposición.

1.4 Evaluación del pH del lodo estabilizado en función del tiempo

Se continuó midiendo periódicamente el pH del lodo estabilizado para determinar cuánto tiempo podría considerarse que éste mantiene las condiciones para seguirse considerando como un residuo estable.

Los resultados del pH respecto al tiempo fueron sometidos a un análisis de regresión lineal y se observó que el modelo que mejor describe este comportamiento es el modelo raíz cuadrada de X, con lo siguientes parámetros (t, en días; pH en sus propias unidades):

$$pH = 12.9904 - 0.238358\sqrt{t}$$

Los resultados del análisis de varianza del modelo se presentan en la Tabla 6. El valor p del estadístico F es menor a 0.01 lo que indica que existe relación estadísticamente significativa entre el pH y el tiempo transcurrido después de la estabilización, para un nivel de confianza del 99%. El coeficiente de correlación obtenido fue de -0.88, indicando una relación moderadamente fuerte entre el pH respecto al tiempo.

En la Figura 5 se muestra gráficamente esta correlación. La línea central de color negro indica el ajuste del modelo, las líneas en color gris ubicadas a los lados de la línea central representan los límites de confianza y por último las líneas azules muestran los límites superiores. La desviación estándar de los residuos o límites de predicción es de 0.12 unidades de pH.

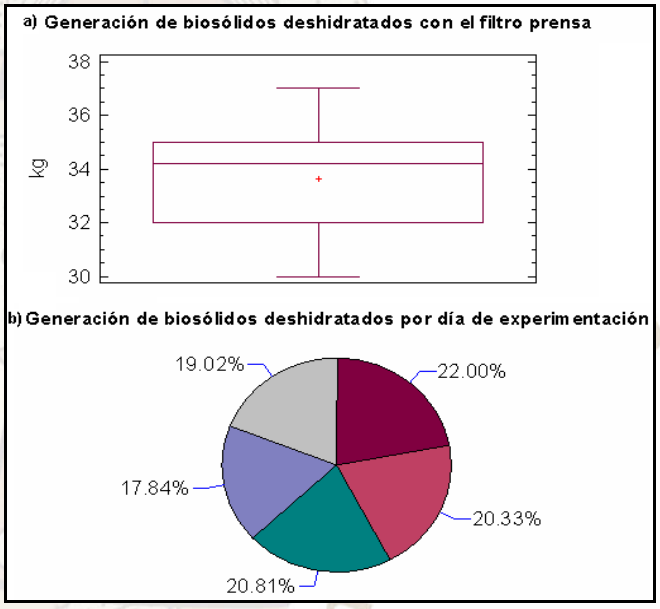


Figura 4 Estimación de la generación de biosólidos por día de experimentación en diagrama de caja y bigotes (a) y gráfica pastel (b).

Tabla 6 ANOVA de la relación del pH respecto al tiempo trascurrido después de la estabilización alcalina

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	Estadístico-F
Modelo	0.85	1	0.85	55.80
Residuo	0.24	16	0.015	
Total (Corr.)	1.09	17		

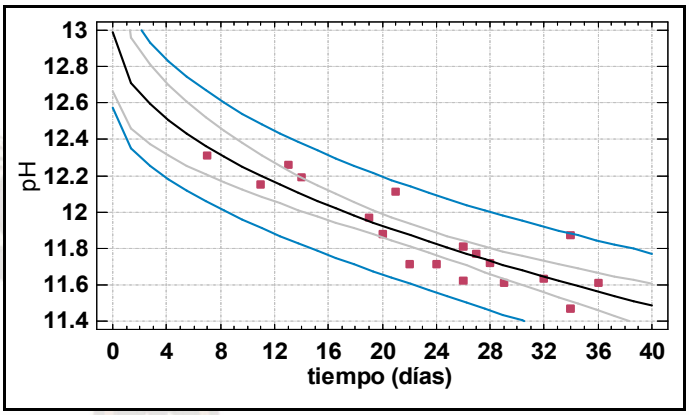


Figura 5 Variación del pH respecto al tiempo después de la estabilización

IV. CONCLUSIONES

En este proyecto se evaluó el funcionamiento del sistema de manejo y tratamiento de estabilización-deshidratación de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UAM-Azcapotzalco.

En cuanto a la caracterización de los lodos residuales, se observó la presencia de contaminantes microbiológicos como salmonella spp.; así como indicadores de contaminación fecal; además de una cantidad muy baja de huevos de helmintos (del género Áscaris en su mayoría) por lo cual, es necesario someterlos a un tratamiento de estabilización para poder reducirlos hasta los límites que establece la NOM-004-SEMARNAT-2003.

En promedio, se aplicaron 1.82 kg de $Ca(OH)_2$/kg ST de lodos residuales en base seca, valor que los sitúa arriba de lo que se reporta en la literatura. Esta situación se explica, en parte, debido a la alcalinidad del agua residual que se genera en la UAM-Azcapotzalco y a la baja concentración de sólidos de los lodos. Con la estabilización alcalina se redujo en su totalidad el contenido de coliformes totales, fecales y microorganismos patógenos como salmonella spp. De forma similar el tratamiento alcalino contribuyó en aminorar malos olores y la atracción de vectores. Ningún metal detectado sobrepasó los límites máximos permisibles para biosólidos establecido en la norma. La cantidad de materia orgánica, así como nutrientes (P, K) determinados sugieren que los lodos, una vez sometidos a un tratamiento de estabilización, pueden ser utilizados ya sea en composteo, como mejorador de suelos y, posiblemente, en otros usos.

El sistema de tratamiento diseñado para la estabilización y deshidratación de los lodos residuales resultó ser relativamente de los más sencillos y permitió obtener resultados favorables en consideración con una mejor manipulación de los biosólidos, ya que fue posible remover un volumen de 300 L hasta obtener en promedio 34 kg por día. El pH se mantuvo estable por un tiempo mayor a 30 días, lo cual es conveniente si no se tiene determinado su aprovechamiento.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece a todo el equipo de servicio social de la PPTAR, porque gracias a su organización es posible realizar este tipo de proyectos.

REFERENCIAS

Barrios P. J. A., Jiménez B. y Maya C., 2000, "Class B Biosolids production from wastewater sludge with high pathogenic content generated in an advanced primary treatment", Water Science and Technology, 42, 103-110, Reino Unido.

Castrejón A. J. A., Jiménez B., Maya C., Rodríguez A. y González A., 2001, "Evaluación de la calidad de los lodos residuales de México", Instituto de Ingeniería UNAM, México.

(DOF), Diario Oficial de la Federación, 2003, Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, 15 de agosto de 2003, Lodos y biosólidos, "Especificaciones y límites

máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final".

Environmental Protection Agency (EPA), 1996, "As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn, (Atomic Absorption Direct Aspiration)", Methods: 7061, 7130, 7190, 7210, 7420, 7471, 7520, 7950, 1996.

Environmental Protection Agency (EPA), Noviembre, 2004, "Solid and waste pH", Method 9045D, Revisión 4.

Environmental Protection Agency (EPA), Febrero, 2007, "Microwave assisted acid digestion of sediments, sludge, soils, and oils ", Method 3051A, Revision 1.

González, A. A., 2001, "Planta piloto de tratamiento de la UAM-Azcapotzalco", Memoria de cálculo, Documento interno, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México D. F.

Hanna Instruments, 2001, "Soil Test Handbook, Soil Science and Management", H3896, Hanna Soiltest, Italia.

Jackson, M. L., 1976, "Análisis químico de suelos", Ediciones Omega, España.

(WEF), Water Environmental Federation, 1993, "Sludge Stabilization", Manual of practice, F-D9, USA.

Degradación de los residuos sólidos del cigarrillo por el crecimiento de *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor*.

Leopoldo José Luis Benítez González, Víctor Manuel Esparza Martínez
UNAM/ FES Iztacala. Planta Piloto y Laboratorio para la Enseñanza en la Producción de Hongos Comestibles y Medicinales Cultivados, Proyectos Productivos, Jardín Botánico.
Av. de Los Barrios No 1 Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla de Baz, Estado de México.
email:Leopoldo.b.g@hotmail.com

Resumen

En México y el mundo diariamente se desechan colillas o filtros de cigarrillo, generando un problema de contaminación por sustancias toxicas acumuladas y residuos sólidos, en respuesta a este problema se investigó la capacidad de hongos lignocelulósicos como biotecnología para degradar estos contaminantes. Los filtros se acopiaron distribuyendo contenedores específicos y promoviendo educación ambiental en la UNAM campus Iztacala, habiendo colectado 4.4 kg de filtros en 7 meses. Posteriormente se prepararon para siembra mezclas de colillas y paja de trigo, que al cabo de dos días se inocularon con las cepas de *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor*. Se obtuvo crecimiento micelar de los hongos en todos los tratamientos invadiendo totalmente el sustrato a los 7 días. *P ostreatus* tuvo de capacidad de fructificar en el acetato de celulosa del filtro, formando cuerpos fructíferos a los 28 días y finalizando el cultivo a los 70 días. No se obtuvieron fructificaciones con *T. versicolor*. El peso de las colillas se redujo en un 39% con *P. ostreatus* y en un 34% con *T. versicolor*, alcanzando eficiencias biológicas de entre 128 a 161% y producción de biomasa de 51 a 64 g por cada 100 g de sustrato; se observaron morfologías de los cuerpos fructíferos con diferentes texturas, color y olor a las registradas en el grupo control. Esta nueva biotecnología se propone como una alternativa para disminuir el problema de los residuos sólidos del cigarrillo.

Palabras Clave – Biotecnología, colillas de cigarrillo, contaminación, hongos lignocelulolíticos.

Abstract

In México and the world every day are discarded cigarette butts or filters, generating a problem of contamination by toxic substances and solid waste accumulated, in response to this problem was investigated the ability of fungi to degrade lignocellulosic as biotechnology for these pollutants. The filters were collected by distributing special containers and promoting environmental education at the UNAM campus Iztacala. After 7 months were collected 4.4kg of these filters. Treatments were then started, were made mixtures of butts and wheat straw and after two days the mixtures were inoculated with the strains of *Pleurotus ostreatus* and *Trametes versicolor*. It was obtained mycelial growth of fungi in all treatments and the substrates were invaded completely after 7 days. *P. ostreatus*. had the capacity to be fruitful in the cellulose acetate of the butts. Fruitful bodies were formed at 28 days and this activity ended after 70 days cultivation. No fruiting bodies were obtained with *T. versicolor*. *P. ostreatus* cultivation reduced the weight of cigarette butts by 39% and with and with *T. versicolor* it was reduced 34%. Biological efficiencies were between 128-161% and biomass production was between 51 to 64 g per 100 g of substrate. Morphology of the fruiting bodies showed different textures, color and odor to those recorded in the control group. This new biotechnology is proposed as an alternative to reduce the solid waste problem resulting of smoking.

Keywords – Biotechnology, cigarette butts, pollution, lignocellulolytic fungi.

I. INTRODUCCIÓN

La problemática de los desechos sólidos en México reside en que el 82.8% de la "basura" se deposita en basureros a cielo abierto (Comisión de Desarrollo Sostenible de la ONU, 2001), además de la disposición clandestina e incontrolada de los residuos, actividades que contribuyen en gran medida a la contaminación de suelos y aguas. Entre los principales contaminantes sólidos que afectan los suelos y el agua se encuentran los filtros de cigarrillo, que por su tamaño pueden no notarse entre la basura, pero se desechan millones diariamente y su degradación en el ambien-

te es lenta. El material del filtro de los cigarrillos, lo constituyen; el papel de celulosa y el acetato de celulosa que se utiliza para retener la mayor cantidad de sustancias tóxicas y evitar que lleguen a los fumadores. Los filtros acumulan sustancias como: hidrocarburos aromáticos, nitrosaminas, aminas aromáticas, aldehidos, cloruro de vinilo, etilcarbamato, arsénico, níquel, cromo, cadmio, plomo entre otras (British American Tobacco, 2009). Estos residuos, cuando se desechan en cualquier sitio, generan un impacto negativo al ambiente, principalmente porque, no se tienen las medidas necesarias para su manejo. (Underwater Naturalist, 2000). La biotecnología contempla el uso de la capacidad metabólica de microorganismos para usos de biorremediación, incluyendo a los hongos basidiomicetes que producen complejos enzimáticos con actividad oxidativa. Estos complejos enzimáticos son catalizadores poco específicos, el mecanismo de reacción involucra la formación de radicales libres. (Dávila & Vázquez-Duhalt 2006). Lo que nos permite la implementación de estudios básicos y aplicados para la reducción del impacto ambiental, en este trabajo se realizó la degradación controlada utilizando los filtros de cigarrillo de desecho como sustrato para la propagación del micelio de los hongos *Pleurotus ostreatus y Trametes versicolor,* con el objetivo de desarrollar un tratamiento para la degradación de estos residuos sólidos y a su vez determinar el hongo más eficiente en este tratamiento, así como contar con una alternativa de innovación biotecnológica para resolver este problema de contaminación.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realiza en las instalaciones de la UNAM Campus Iztacala, en el espacio denominado "Planta piloto y laboratorio para la enseñanza en la producción de hongos comestibles y medicinales cultivados" del área de proyectos productivos del jardín botánico. Para la recolección de los filtros, se construyeron y distribuyeron 120 contenedores específicos, al mismo tiempo se difundió y promovió la alternativa de usar los contenedores y la importancia de separar estos residuos sólidos. Para el desarrollo del proceso, se llevó a cabo el acopio de los filtros, éstos se pesaron. Se trituró la paja de trigo necesaria para llevar a cabo los tratamientos. Los sustratos se hidrataron por 24 horas, se hicieron y homogeneizaron las mezclas de paja de trigo y filtros de cigarrillo. Se envasaron en frascos de vidrio 50 gramos de cada sustrato para cada tratamiento:

- tratamiento (A) 100% colillas
- tratamiento (B) 75% colillas + 25% paja
- tratamiento (C) 50% colillas + 50% paja
- grupo control (K) sólo paja de trigo

Se montaron cuatro repeticiones de cada uno, ya preparados los sustratos, se esterilizaron en autoclave a 121º durante 40 min. Se confirmó la esterilización de los sustratos por observación, al cabo de dos días.

Los frascos se inocularon con las cepas de *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor*, incubándolos durante 20 días en oscuridad total y temperatura de 26°C, los frascos fueron distribuidos aleatoriamente y se revisaron cada día durante la invasión del sustrato. Una vez concluido el tiempo de incubación se indujo la fructificación destapando los frascos e iniciando riego con aspersor cuatro veces al día; durante este período se controlaron los parámetros de temperatura a 25°C, humedad relativa de 60-80% y aireación; una vez al día, se registró el pH del sustrato. Se llevó un registro de: peso fresco de las fructificaciones, eficiencia biológica, producción de biomasa, cinética de cultivo, tiempo hasta la fructificación y tiempo hasta el final del cultivo. El lixiviado de la hidratación de las colillas se utilizó para conocer la capacidad de crecimiento del micelo de *P. ostreatus*. Adicionalmente se tomó nota de las diferencias entre los sustratos experimentales y el control.

Se registraron los cambios en la estructura del acetato de celulosa, al inicio y al final del tratamiento En base a estos criterios se compararon los tratamientos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron y observaron diferencias en el tiempo de invasión del sustrato y en el tiempo

hasta la fructificación, encontrando que *P. ostreatus* invadió totalmente el sustrato a los 7 días y tuvo la capacidad de fructificar, mientras que *T. versicolor* invadió el sustrato a los 15 días de inocularse, pero en este cultivo no se obtuvieron fructificaciones. Las fructificaciones de *P. ostreatus* se manifestaron a los 24 días en el grupo control K y en el tratamiento A; en el tratamiento B a los 42 días y en el tratamiento C a los 44 días (CUADRO1).

CUADRO1.- Parámetros y resultados del crecimiento de los hongos. T=temperatura, EB=Eficiencia biológica (%), P=Producción (g), CC=Cinética de cultivo (días) y T.F=Tiempo hasta la fructificación (días).

Cuadro 1- TRATAMIENTOS								
	Pleurotus ostreatus				***Trametes Versicolor***			
	A	B	C	K	A	B	C	K
CRECIMIENTO MICELAR								
pH	7.2	7	6.9	6.7	7.2	7	6.9	6.7
FRUCTIFICACION								
EB	128	161	133	140	NO FRUCTIFICACION			
P	51	64	53	56				
CC	29	20	19	18				
T.F	24	42	44	24				

El desarrollo del micelio de *P. ostreatus* no presentó contaminación, por microorganismos competidores, durante el proceso; en contraste, el micelio de *T. versicolor*, al cabo de 22 días presentó contaminación por otro microorganismo. Se observa que el tratamiento B tiene mayores valores de eficiencia biológica y producción, lo que significa que la composición 75% filtros y 25% paja es mejor para la obtención de biomasa, mientras que el grupo control tiene la cinética de cultivo más eficiente de todos los tratamientos, seguido del tratamiento A. El sustrato del tratamiento B produjo 64g de biomasa a partir de 100g de sustrato, lo que lo hace aparecer como el sustrato más específico; se puede suponer que con la estandarización de este tratamiento se puede llegar a la producción ideal de biomasa a partir de esta combinación de residuos sólidos. Por otro lado, el crecimiento de los micelios de ambos hongos en el sustrato de acetato de celulosa, fue positivo en todos los tratamientos, observándose un cambio en la estructura de los filtros durante el cultivo, resaltando que *P. ostreatus* es más eficiente como degradador que *T. versicolor* de acuerdo a lo observado en el tiempo de invasión. Para complementar esta aseveración se realizaron observaciones en el microscopio de barrido en las que se observan diferencias en la estructura de las fibras del acetato de celulosa, al cabo de 70 días de tratamiento (FIGURA1).

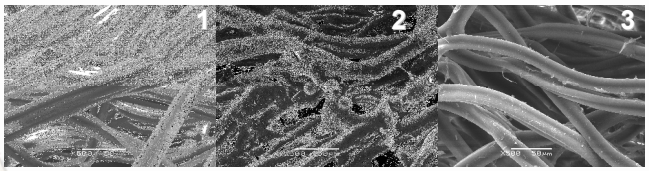


FIGURA1. Observación al microscopio de las fibras del Acetato de celulosa (500X) con 70 días de tratamiento, donde 1: Sin tratamiento, 2: cultivo de *Pleurotus ostreatus*, 3: cultivo de *Trametes versicolor*.

El tipo y el alcance de la degradación de la celulosa por los hongos y sus enzimas dependen, en parte, de parámetros físicos y químicos tales como temperatura y pH, y la composición del sustrato. Las relaciones entre las características estructurales y la degradación enzimática son necesarias no solo para fines comerciales y prácticos, sino también para una mejor comprensión del mecanismo de reacción (Haigler & Weimer 1991). Para este trabajo se observó que la especificidad del sustrato fue determinante en el desarrollo de los procesos de degradación, por los hongos, siendo la más eficiente una mezcla de paja de trigo y colillas de cigarrillo, ya que la paja puede aportar los contenidos de lignina para el sustrato y los filtros de cigarrillo sirvieron como un recurso para producción de biomasa que puede utilizarse para diferentes fines. La celulosa y el acetato de celulosa de los filtros de cigarrillo son afectados por las enzimas de *P. ostreatus* y *T. versicolor*, comenzando la degradación por el papel de celulosa que recubre a los filtros y después al degradarse el acetato de celulosa se reduce el peso seco de una colilla en un 39% con *Pleurotus* y un 34% con *Trametes,* al cabo de 70 días de

tratamiento, lo que significa un avance en la degradación de estos residuos a compuestos más simples (FIGURA 2).

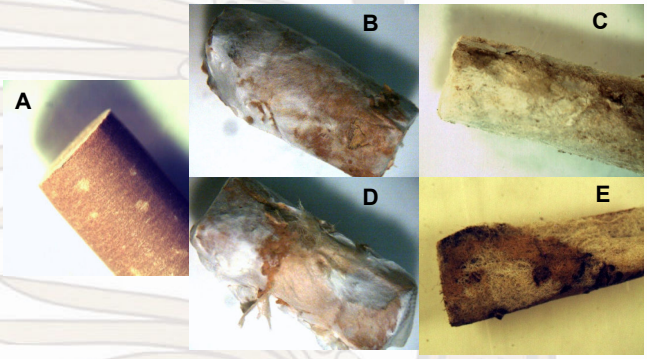


FIGURA2. Estado de las colillas al inicio y al final del cultivo, donde A: filtro sin tratamiento, B: 7 días con *P. ostreatus*, C: 70 días con *P. ostreatus*, D: 7 días con *T, versicular* y E: 70 días con *T. versicular*

Por otro lado, *Pleurotus* contiene sustancias antioxidantes (Kapich & Shishkina, 1992), por lo que la biomasa generada a partir de las colillas puede ser una fuente de sustancias benéficas para el hombre. Se observó la formación de primordios de *P. ostreatus* en una sola colilla, lo que permite suponer que en una colilla se tienen las condiciones necesarias para que el hongo fructifique. Por otro lado, el lixiviado obtenido de la hidratación de las colillas fue utilizado como sustrato liquido para el micelio de *Pleurotus* observándose que éste también desarrolla biomasa micelar, al notarse la invasión total de la superficie a los 13 días; lo que significa que *P. ostreatus* también puede desarrollarse en el lixiviado resultante del tratamiento biotecnológico (FIGURA 3) lo que abre otras expectativas para el tratamiento. Es de resaltar las diferencias en la morfología de los cuerpos fructíferos del grupo control y el tratamiento de 100% colillas, en este último se observa coloración café oscura comparada con el típico color claro de la cepa, resultados similares a los de Ferrera *et al,* quienes mencionan que las fructificaciones de *Pleurotus sp.,* en suelos adicionados con petróleo crudo ligero, son de coloraciones café oscuras, por lo que posiblemente, esto se deba, en este experimento, a la acumulación de sustancias tóxicas en los cuerpos fructíferos. El hecho de obtener carpóforos en estos sustratos, no determina la viabilidad comestible de ellos.

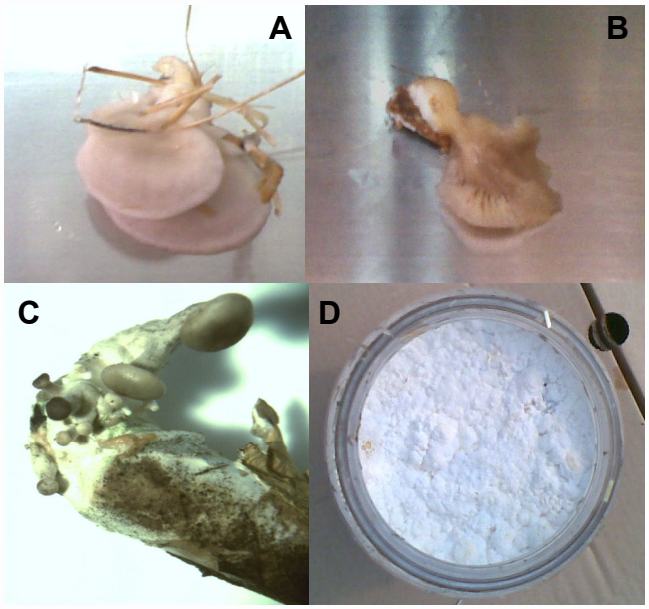


FIGURA3. A y B: fructificaciones de *P. ostreatus* en el grupo control y 100% colillas, C: primordios de *P. ostreatus* en una sola colilla y D: micelio de *P. ostreatus* en el lixiviado de los filtros de cigarrillo.

También Delfín & Duran obtuvieron el crecimiento positivo en celulosa sintética presente en residuos sólidos de pañales, lo cual corrobora la utilización de materiales contaminantes con contenidos de celulosa, materia orgánica e inorgánica, que permite degradarlos y disminuir su impacto en el medio ambiente.

IV. CONCLUSIONES

A partir de los resultados podemos concluir que en México y otros países se han establecido leyes que prohíben fumar en espacios públicos cerrados, lo que ha provocado que los negocios destinen áreas específicas al aire libre para fumadores lo que conlleva a la concentración de filtros en esos sitios, comportamiento que favorece su fácil acopio. Con la ayuda de contenedores e interés por manejar estos residuos sólidos, se pueden comenzar a degradar los residuos del cigarrillo de zonas urbanas en plantas tratadoras. No existe actualmente una cultura, que permita aplicar al menos una alternativa de tratamiento para estos residuos, las colillas son depositadas junto con muchos otros residuos en rellenos sanitarios. Esto permite proponer la posible utilización de estos hongos en la biorremediación de estos depósitos sanitarios, al reducir el tiempo de degradación de

los filtros de cigarrillo. Por otro lado, la conformación estructural del acetato de celulosa podría ser estudiada para medir su toxicidad y tiempo de degradación en el ambiente después del tratamiento con los hongos. Los micelios de *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor* resultan ser eficientes degradadores de los residuos sólidos del cigarrillo, obteniéndose mejores resultados con *P. ostreatus*. La utilización de contenedores específicos para el desecho de los filtros, disminuye la contaminación de suelos y aguas superficiales; siendo este estudio un modelo funcional para el manejo de los residuos sólidos del cigarrillo.

V. RECONOCIMIENTOS

Dr. Sergio Cházaro Olvera, Director de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala.

M. en C. Irma Delfín Alcalá, Académico de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala.

Dr. Cesar Mateo Flores Ortiz, coordinador de la Unidad de Biotecnología y Prototipos, UNAM Campus Iztacala.

M. en C. Rafael Emiliano Quintanar Zúñiga, Técnico Académico encargado del Microscopio Electrónico de Barrido.

M. en C. Rafael Chávez López, Jefe de la Carrera de Biología de la UNAM Campus Iztacala.

Biol. Ángel Morán Silva, Secretario de Desarrollo y Relaciones Institucionales de la UNAM Campus Iztacala.

VI. REFERENCIAS

British American Tobacco, 2009. Nobleza Piccardo, Acerca del Producto. Agentes Carcinógenos y Tumorgénicos en el humo del tabaco. Buenos Aires, Argentina.

Comisión de Desarrollo Sostenible de la ONU, 2001. BBC World Service. Especiales. México: Una radiografía de una mega-ciudad. Bush House. Londres, Inglaterra.

Dávila G. and Vázquez-Duhalt R., 2006. Enzimas ligninoliticas fúngicas para fines ambientales. Instituto de Biotecnologia. UNAM, México.

Delfín I. and Duran C., 2003. Biodegradación de residuos sólidos urbanos lignocelulósicos por *Pleurotus sp*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. UNAM, Campus Iztacala, México.

Ferrera R., Lara M. and Sánchez J., 2009. El genero Pleurotus y su capacidad de crecer en medios de cultivo y suelo con diferentes concentraciones de petróleo. Departamento de Biotecnología Ambiental. Colegio de Postgraduados. México.

Haiger H. & Weimer J. 1991. Biosynthesis and Biodegradation of Cellulose. Marcel Dekker. New York, Basel Hong Kong. 21, 491-533.

Kapich A. & Shishkina L. 1992., Antioxidants properties of wood destroying basidiomycetes. Miklogiya i Fitopatologiya.

Quintero J.C., Feijoo G.C. and Lema J.M., 2006. Production of ligninolytic enzymes from Basidiomycete fungi on lignocellulosic materials, VITAE, Revista de la facultad de química farmacéutica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Underwater Naturalist, Bulletin of the America Littoral Society. 2000. Cigarrete Butts as litter – Toxic as well as Ugly, Compiled by clean Virginia Waterways, Longwood University, Farmville, USA

Tratamiento de lixiviados mediante su dilución y recirculación en residuos sólidos urbanos

Ma. del C. Hernández-Berriel [a, 1b], E.A. Mendoza-Chavez [2c],
O. Buenrostro-Delgado [3a], J.M. Sánchez-Yáñez, [4a], L. Márquez-Benavides *[5a]

[a]IIAF/IIQB. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, San Juanito Itzícuaro s/n, Col. San Juanito Itzícuaro, Morelia, Michoacán-México.
email: lmarquez@umich.mx

[b]Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n Ex-Rancho La Virgen, Metepec, Edo. de México-México.

[c]Universidad de Baja California, Calle de la Normal s/n, Blvd. Benito Juárez, Col. Insurgentes Este, Mexicali, Baja California Norte-México.

Resumen

Lograr la estabilización de los residuos sólidos urbanos (RSU) y sus subproductos en un Relleno Sanitario (RESA) requiere de 20 o más años, por lo que las barreras colocadas inicialmente exceden su vida útil, permitiendo la infiltración de lixiviados al subsuelo y el escape del biogás a la atmósfera. Una manera de acelerar su estabilización es operar el RESA como un biorreactor recirculando sus lixiviados.

El objetivo de este trabajo fue determinar los niveles de remoción de la carga orgánica como Demanda Química de Oxígeno (DQO) y de nitrógeno amoniacal (N-amoniacal), acelerando la degradación de los RSU mediante la recirculación de sus lixiviados diluidos. Para ello, se montaron 8 biorreactores escala laboratorio (BLABs) con RSU de Pátzcuaro, Michoacán. Inicialmente se les adicionó agua potable simulando lluvia para alcanzar los contenidos de humedad de 50, 60, 70 y 80 % base húmeda por duplicado, y posteriormente se les recirculó sus lixiviados correspondientes 2 veces por semana. Los primeros lixiviados producidos se mezclaron con agua potable en una proporción de 10 veces el volumen de un BLAB. Se dio seguimiento durante 210 días a los lixiviados producidos y recirculados. Con base al pH de los lixiviados producidos se delimitaron las fases de hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis de los RSU en los BLABs a cada nivel de humidificación. Los lixiviados producidos al final del experimento, presentaron valores de 7.08-7.65 de pH, 280-400 mg/L de DQO y 14.89-42.58 mg/L de N-amoniacal, con remociones de estos dos últimos parámetros superiores al 95 %.

Palabras Clave – Tratamiento de lixiviados, recirculación de lixiviados, residuos sólidos urbanos.

Abstract

Achieve stabilization of municipal solid waste (MSW) and its products in a landfill requires 20 or more years, so the barriers placed initially exceed life, allowing the infiltration of leachate underground and biogas escape into the atmosphere. A way to speed up their stabilization is to operate as a bioreactor landfill recycling leachate.

The objective of this work was to determine the levels of organic load as chemical oxygen demand (COD) and ammonium nitrogen (ammonium-N), accelerating degradation of the MSW through its diluted leachate recirculation. To do this, were mounted 8 bioreactors scale laboratory (BLABs) with MSW of Pátzcuaro, Michoacán. Initially added them water simulating rain to reach 50, 60, 70 and 80% moisture content wet basis by duplicate, and subsequently were recycled

[1] hberriel_1999@yahoo.com
[2] alejandhro@hotmail.com
[3] otonielb@umich.mx
[4] azotobacter56@yahoo.com.mx
[5] Autor para correspondencia

their corresponding leachate 2 times per week. The leachate produced first was mixed with water at a rate of 10 times the volume of a BLAB. The variations of leachate produced and recycled were followed during 210 days. The pH of the leachate produced was used to delimit phases of hydrolysis, acidogenesis and methanogenesis of MSW in the BLABs at each level of humidification. Produced leachate at the end of the experiment presented values of 7.08-7.65 pH, 280-400 mg COD/L and 14.89-42.58 mg ammonium-N/L. The removals of the last two parameters were superior to 95 %.

Keywords – Leachate treatment, leachate recirculation, municipal solid waste

I. INTRODUCCIÓN

En México, construir un Relleno Sanitario (RESA) para una gran ciudad, o un Centro Intermunicipal para el tratamiento Integral de Residuos (CITIR) para varios pueblos y pequeñas ciudades, tiene por objetivo el contar con sitios seguros donde se puedan disponer los residuos sólidos urbanos (RSU) (LGPGIR, 2003). Sin embargo, hoy en día se tiene evidencia que lograr la estabilización de los RSU y sus subproductos requiere de 20 o más años (Demirekler *et al*., 2004; Ellis *et al*., 2005; Kjeldsen *et al*., 2002), por lo que las barreras colocadas inicialmente en las celdas de un RESA o CITIR exceden su vida útil, permitiendo la infiltración de lixiviados al subsuelo y el escape del biogás a la atmósfera, lo que inevitablemente impacta el medio ambiente y la salud.

Una manera de acelerar la estabilización de estos sitios es operarlos como biorreactores recirculando sus lixiviados (Barlaz *et al*., 1990; Pohland and Kim,1999; Reinhart and Al-Yousfi; 1996). Sin embargo, de acuerdo a estudios realizados en campo y a escala, se ha encontrado que los lixiviados maduros típicamente tienen pH cercanos a la neutralidad, contiene bajas cargas orgánicas (1500 a 1600 mg/L) y concentraciones de nitrógeno amoniacal (N- amoniacal) superiores a 2000 mg/L (Benson *et al*., 2010; Reinhart *et al*., 2002), como la que reporta Lo (1996) de 13000 mg N-amoniacal/L para el RESA clausurado de Ma Tso Lung en Hong Dong. El motivo, como lo mencionan diversos trabajos, se debe a que la digestión anaeróbica que se lleva a cabo en un RESA, no puede remover el N-amoniacal generado durante la hidrólisis y fermentación de las fracciones nitrogenadas de los sustratos biodegradables, pues para su conversión a nitrito/nitrato y finalmente a N_2, se requiere de condiciones aeróbicas que permitan llevar a cabo los procesos de nitrificación y desnitrificación (Castrillón *et al*., 2010; Nguyen *et al*., 2008; Valencia *et al*., 2009).

El objetivo de este trabajo fue estudiar a la recirculación de lixiviados diluidos como una alternativa tecnológica, para reducir la carga orgánica como Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el N-amoniacal en los lixiviados que se producen cuando se acelera la biodegradación de los RSU.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Montado y operación de biorreactores a escala laboratorio

Se utilizaron 8 BLABs construidos con PVC hidráulico. Un BLAB está conformado por domo, cuerpo y fondo, los cuales se ensamblan herméticamente por medio de empaques de neopreno, bridas y tornillos. El cuerpo (18 cm de altura y 4.5 cm de diámetro interno) cuenta además con distribuidores tipo Sieve que permiten contener los RSU compactados, así como el flujo de lixiviados al fondo y de biogás al domo. El fondo del BLAB cuenta además con un frasco graduado conectado al fondo para la recepción y medición de sus lixiviados producidos.

Cada uno de los BLABs se cargó con una mezcla de RSU previamente preparada, la cual corresponde a la composición de los RSU del RESA del Municipio de Pátzcuaro, Michoacán (Tabla 1), así mismo se les colocó 32.15 g de suelo de dicho RESA como material de cobertura. Tanto los RSU como el suelo se compactaron a la densidad de 600 kg/m^3. Finalmente se cerró cada uno de ellos y se verificó la hermeticidad mediante pruebas neumáticas.

Tabla 1. Caracterización de los RSU de Pátzcuaro, Michoacán y cantidades contenidas en cada BLAB.

SUBPRODUCTOS	RSU	
	%	g
Residuos alimenticios	34.25	73.71
Residuos de jardinería	31.86	68.56
Papel	5.97	12.84
Plástico de película	4.74	10.20
Polietileno de alta densidad	3.81	8.21
Vidrio	3.48	7.49
Trapo	3.31	7.12
PET	2.67	5.75
Material de construcción	1.91	4.10
Pañal desechable	1.89	4.06
Material ferroso	1.76	3.78
Material no ferroso	1.31	2.83
Envase de cartón encerado	1.21	2.60
Cartón	1.07	2.30
Unicel	0.76	1.64
Total	100.00	215.19

Los BLABs se operaron por duplicado a los niveles de humedad de 50, 60, 70 y 80 % base húmeda (%Hbh). Para ello, se prepararon 4 vitroleros con 8.24 L de agua potable, volumen correspondiente a 10 veces el volumen de un BLAB por duplicado. Se tomaron de estos vitroleros los volúmenes de 62, 124, 248 y 496 ml de agua potable, correspondientes a los niveles de humedad de 50, 60, 70 y 80 %Hbh, y se adicionaron inicialmente a cada BLAB simulando lluvia. Los primeros lixiviados producidos de cada nivel de humedad se diluyeron en el agua potable restante de los vitroleros. De estos lixiviados diluidos se tomaron nuevamente los volúmenes correspondientes para cada nivel de humedad y se recircularon a sus respectivos BLABs. Después de cada recirculación, los lixiviados producidos se mezclaron en sus respectivos vitroleros para preparar los siguientes lixiviados diluidos a recircular. Para mantener los contenidos de humedad de los 4 niveles, se recircularon los lixiviados diluidos 2 veces por semana a una velocidad de 2 ml/min con bombas peristálticas.

2.2 Determinaciones analíticas

Se dio seguimiento durante 210 días a los lixiviados producidos y recirculados, analizándoles pH mediante la NMX-AA-008-SCFI-2000 (SEMARNAT, 2010), demanda química de oxígeno (DQO) con el Método de dicromato aprobado por la USEPA (HACH, 1997), y nitrógeno amoniacal (N- amoniacal) con el método colorimétrico reportado por Watson-Craik and Senior (1989).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Dinámicas de pH en lixiviados producidos y recirculados

Las figuras 1 y 2 muestran respectivamente, las dinámicas del pH en los lixiviados producidos y recirculados para los BLABs %Hbh. Como puede apreciarse, el pH de los lixiviados producidos para todos los niveles de %Hbh iniciaron ácidos, lo que es indicio de una dilución y arrastre importantes de ácidos orgánicos (Francois *et al*., 2007; Sanphoti *et al*., 2006).

Con base al pH de los lixiviados producidos, fue posible delimitar las fases de hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis de los RSU en los BLABs a cada nivel de humidificación. La fase de hidrólisis para los BLABs a 80 y 70 %Hbh tuvo lugar en los primeros 10 días de operación, para los de 60 %Hbh requirió 13 días, y para los de 50 %Hbh se prolongó al día 17 (Figura 1). En estos últimos BLABs el retraso observado se debió a que hubo que adicionarle una tercera humidificación para que prefusinaran lixiviados, de manera que fue posible recircularles hasta el día 10 (Figura 2), y consecuentemente incorporar nutrientes en sus lixiviados. La fase acidogénica inició cuando descendieron nuevamente los valores de pH en lixiviados producidos, y para su término e inicio de la metanogénesis se consideró el valor de pH de 6.5, así como la presencia de metano en los BLABs (Chugh *et al*., 1998). La acidogénesis

comprendió los días 13 a 41 para 80 %Hbh, 13 a 63 para 70 %Hbh, 17 a 76 para 60 %Hbh y 20 a 139 para 50 %Hbh. Los BLABs que alcanzaron primero la neutralidad, fueron los operados al 80 %Hbh (día 58), seguidos de 70 (día 75), 60 (día 129) y 50 %Hbh (día 170). Los lixiviados producidos al final del experimento, presentaron valores de pH de 7.08-7.65

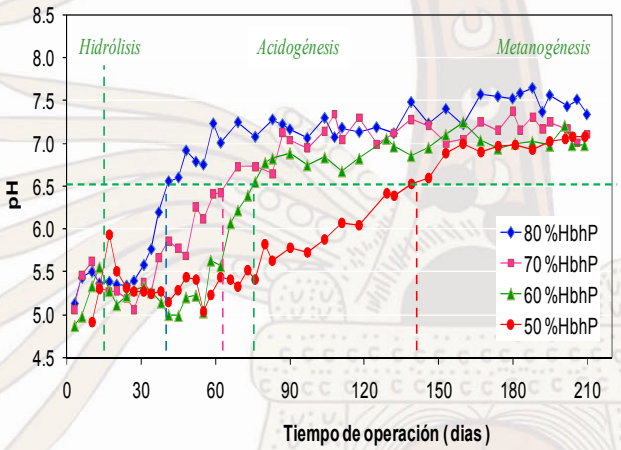


Figura 1. Dinámica de pH en lixiviados producidos.

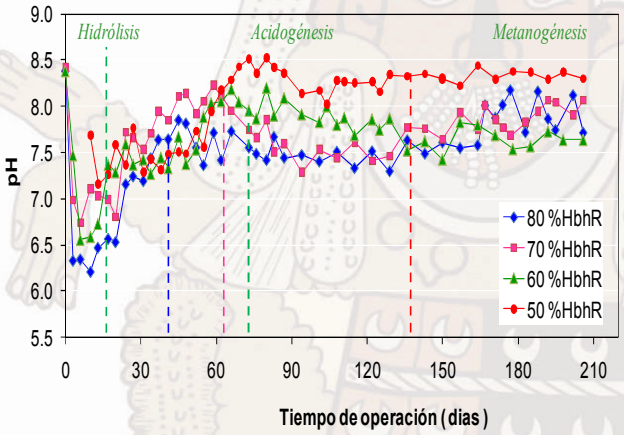


Figura 2. Dinámica de pH en lixiviados recirculados.

Las diferencias en los periodos de la fase acidogénica para los BLABs, y por ende en el inicio de la fase metanogénica, fueron consecuencia de los volúmenes recirculados en cada nivel y de las concentraciones de compuestos orgánicos e inorgánicos en los lixiviados recirculados. Las diferencias en concentraciones de H^+ pueden observarse en la figura 2, donde todos inician con valores de pH 8.41 (agua potable), pero una vez obtenidos sus primeros lixiviados, éstos se vertieron en cantidades diferentes a sus respectivos vitroleros, de manera que los pH de los primeros lixiviados a recircular (día 3) presentaron valores más ácidos en relación directa a los niveles de 80, 70 y 60 %Hbh, lo que indica una mayor concentración de ácidos orgánicos (Francois *et al*., 2007; Sanphoti *et al*., 2006).

3.2 Dinámicas de demanda química de oxígeno en lixiviados producidos y recirculados

Las dinámicas de DQO en lixiviados producidos y recirculados, se presentan respectivamente en las figuras 3 y 4.

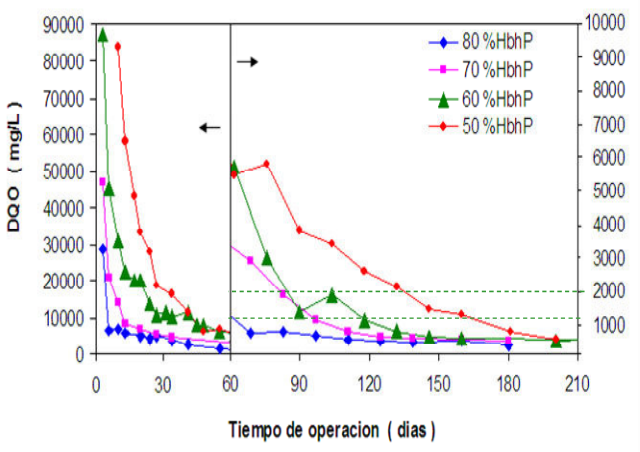


Figura 3. Dinámica de DQO en lixiviados producidos.

Aunque los lixiviados producidos (Figura 3) muestran para este parámetro dinámicas similares, puede apreciarse el efecto de dilución por los diferentes niveles de recirculación para todas las fases (Chugh *et. al*., 1998). El efecto de dilución ante un mayor volumen de agua adicionada fue observado también por Sponza and Ağdağ (2004) al inicio de su experimento, pese a la posibilidad de producir un mayor arrastre de componentes.

La figura 4 presenta diferentes dinámicas para DQO en los lixiviados recirculados durante las fases de hidrólisis y acidogénesis, lo cual significa que en esas fases se introdujeron en cada nueva recirculación, cantidades diferentes de compuestos susceptibles de ser degradados (mg/L) en los BLABs de cada nivel de humidificación.

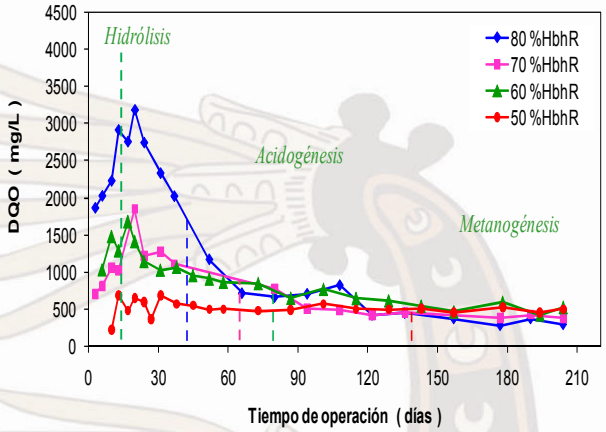


Figura 4. Dinámica de DQO en lixiviados recirculados.

El valor ≤ 2000 mg/L de DQO reportado por Francois *et al*. (2007), como límite de estabilización para los lixiviados producidos, fue alcanzado a los días 48, 78, 83 y 130, por los lixiviados a 80, 70, 60 y 50 %Hbh, respectivamente (Figura 3). Debido a que los valores de pH en los BLABs al 50 %Hbh para el día 130 aun no habían alcanzado la fase metanogénica (Figura 1), se considero en este trabajo el valor de DQO ≤ 1000 mg/L. Similarmente, los BLABs al 80 %Hbh fueron los primeros en estabilizarse (día 60), seguidos de los del 70 %Hbh (día 90), los del 60 %Hbh (día 115) y 50 %Hbh (día 163) (Figura 3). La estabilizaran en orden descendente al nivel de humidificación, puede atribuirse a que a mayor recirculación de lixiviado, la actividad microbiana se vio favorecida por una mayor distribución de nutrientes, como lo mencionan los trabajos de Ravishankar *et al*. (2007) y de Chugh *et al.* (1998), sin embargo, para el caso de los BLABs al 80 %Hbh, el efecto de dilución fue mayor que el de degradación, ya que después al día 60 de operación, sus valores de DQO fueron menores a 700 mg/L tanto en lixiviados producidos como recirculados, lo que sugiere, que el volumen recirculado para alcanzar este nivel de humedad fue excesivo (Hernández-Berriel *et al.,* 2008).

Considerando las concentraciones iniciales y finales para cada nivel de humedad, se tuvieron remociones superiores al 99 %. Las DQO residuales pueden atribuirse a componentes orgánicos no degradables, compuestos principalmente por sustancias húmicas, las cuales imparten a los lixiviados estabilizados un color café-amarillento (Castrillón *et al*., 2010).

3.3 Dinámicas de nitrógeno amoniacal en lixiviados producidos y recirculados

Las figuras 5 y 6 presentan las dinámicas de N-amoniacal en los lixiviados generados y recirculados, respectivamente. El N-amoniacal es el producto de la descomposición de la materia orgánica nitrogenada contenida en proteínas y ácidos nucléicos.

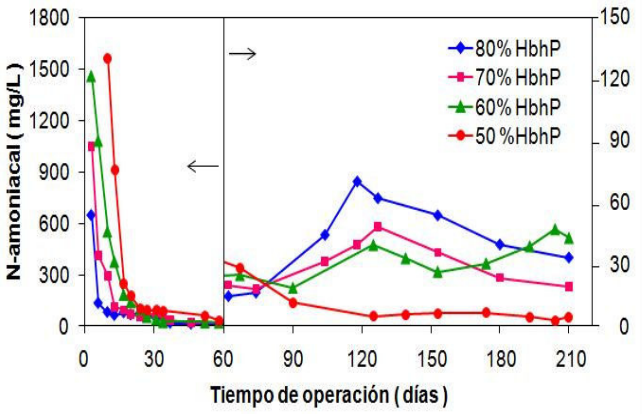


Figura 5. Dinámica de nitrógeno amoniacal en lixiviados producidos.

Las mayores concentraciones del amonio: 646-1565 mg/L, detectadas al inicio del experimento en los lixiviados generados se muestra en la figura 5, fueron producto de la dilución por el agua potable adicionada, que solubilizó parte del N-amoniacal contenido en la fracción orgánica de los RSU y del suelo usado como material de cobertura (Márquez-Benavides and Watson-Craik, 2003). Y aunque estos valores fueron similares a los reportados por Sponza and Ağdağ, 2004, la dinámica observada fue opuesta, ya que los primeros lixiviados producidos en este experimento se diluyeron 10 veces el volumen de un BLAB. Es decir, el rápido descenso detectado durante los primeros 20 días, se debió al efecto de dilución de los lixiviados recirculados, ya que como se

muestra en la figura 6, la concentración del amonio en ese periodo fue menor a 25 mg/L.

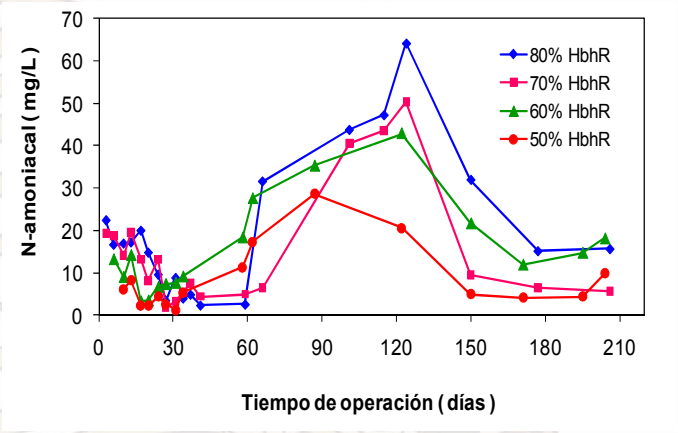


Figura 6. Dinámica de nitrógeno amoniacal en lixiviados recirculados.

Posterior al día 20, se detectó un descenso desacelerado de la concentración del amonio en los lixiviados producidos, lo que sugiere la utilización del N-amoniacal para la síntesis nuevos componentes celulares (Berge *et al*., 2005; Valencia *et al*., 2009). Adicionalmente, el que se haya obtenido mayor concentración de amonio a menor nivel de humedad durante la hidrólisis e inicio de la acidogénesis, fue resultado de los volúmenes recirculados; en otras palabras, a mayor volumen menor concentración.

Entre los días 80 y 120, se observó un cambio en las dinámicas de recirculación con un ligero aumento en la concentración de N-amoniacal en los lixiviados producidos de los BLABs a 80, 70 y 60 %Hbh, en donde se detectaron mayores valores con el aumento en el nivel de humidificación, lo que sugiere la acumulación de amonio en los BLABs por su reintroducción en los lixiviados recirculados. Esto último se corroboró en la figura 6, donde se muestra el incremento de la concentración de N-amoniacal entre los días 60 y 120. El cambio y aumento de la concentración del amonio coincide con lo reportado por Sponza and Ağdağ (2004) cuando se recirculan lixiviados. Es importante destacar que los lixiviados de los BLABs al 50 %Hbh, fueron los que mostraron la menor concentración de N-amoniacal en los lixiviados producidos, lo cual concuerda con que sus lixiviados tuvieron los menores valores de pH durante la fase acidogénica como lo presenta la figura 1, y la mayor concentración de DQO como se muestra en la figura 3.

Posterior al día 120 de operación, se encontró que los lixiviados producidos y recirculados en los BLABs a 70 y 80 %Hbh, mostraron nuevamente un decremento en la concentración de N-amoniacal, alcanzando valores < 60 mg/L y < 20 mg/L, respectivamente. Considerando la cantidad inicial y final para cada nivel de humedad, se detectaron remociones de 99.0, 97.1, 98.2 y 95.2 %, para los BLABs a 50, 60, 70 y 80 %Hbh a los 210 días de operación.

Algunos trabajos mencionan que no es posible la conversión de N-amoniacal a nitrito/nitrato y finalmente hasta N_2 en condiciones estrictamente anaeróbicas (Castrillón *et al*., 2010; Nguyen *et al*., 2008), por lo que el descenso en la concentración del amonio durante la fase metanogénica en esta investigación, sugiere la incorporación de aire en la recirculación de lixiviados, como lo reporta el trabajo de Valencia et al., 2009. Sin embargo, al respecto se tuvo especial cuidado durante todo el experimento, para evitar la entrada de aire con la recirculación de lixiviados. La certeza de ello fue la producción de metano en los diferentes niveles de humedad (datos no mostrados), por lo que fue posible que la dilución de los lixiviados recirculados haya favorecido la conversión quimiolitotrófica de N-amoniacal y nitrito a N_2 bajo condiciones anaeróbicas, este proceso es denominado Anammox (acrónimo en inglés de *anaerobic ammonium oxidation*), y ha sido aplicado con éxito en el tratamiento de lixiviados (López-Castillo, 2009).

IV. CONCLUSIONES

Cuando se aplica la recirculación de lixiviados para la biodegradación acelerada de RSU, es muy importante caracterizar también los lixiviados a recircular, pues no siempre tendrán una composición química similar a la de los producidos.

La recirculación de lixiviados diluidos a los 4 niveles de humedad (50, 60, 70 y 80 %Hbh) benefició la estabilización de los lixiviados producidos. Y para el caso de la DQO, la elección del nivel más apropiado dependerá del tiempo que se disponga para estabilizarles.

El decremento de N-amoniacal en los lixiviados producidos durante la metanogénesis sugiere que la recirculación de lixiviados diluidos favoreció el proceso Anammox, sin embargo para aseverarlo será necesario realizar pruebas adicionales, como la determinación del metabolito intermediario Hidrazina.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Biol. Carlos Guillermo Prado Huerta y al I.Q. Christian Omar Martínez Cámara, su invaluable apoyo técnico.

REFERENCIAS

Barlaz, M.A., R.K. Ham, and D.M. Schaefer. 1990. Methane production of municipal refuse: a review of enhancement techniques and microbial dynamics. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 19(3), 557-584.

Benson, C.H., M.A. Barlaz, D.T. Lane, and J.M. Rawe. 2007. Practice review of five bioreactor/recirculation landfills. Waste Management 27 (1), 13-29.

Berge, N.D., D.R., Reinhart, and T.G. Townsend. 2005. The fate of nitrogen in bioreactor landfills. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 35, 365–399.

Castrillón, L., Y. Fernández-Nava, M. Ulmanu, I. Anger, and E. Marañón. 2010. Physico-chemical and biological treatment of MSW landfill leachate. Waste Management 30, 228–235.

Chugh, S., W. Clarke, P. Pullammanappallil, and V. Rudolph. 1998. Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation. Waste Management and Research 16, 564-573.

Demirekler, E.Y., K. Ünlü, and R.R., Ferry. 2004. Modeling leachate quality and quantity in municipal solid waste landfills. Waste Manage Research 22(2), 78-92.

Ellis, G.T., J. Park, E. Debik, and S. Smith. 2005. Evaluation of leachate treatment and recycle options at the Boone County Landfill. Proceedings of The Twenty International Conference on Solid Waste Technology and Management. Philadelphia, PA USA.

Francois, V., G. Feuillade, G. Matejka, T. Lagier, and N. Skhiri, 2007. Leachate recirculation effects on waste degradation: Study on columns. Waste Management and Research 27(9), 1259-1272.

HACH, 1997. USEPA-Approved Dichromate COD Method. Lit. No. 4257, H74 ©Hach Company. Printed in USA.

Hernández-Berriel, Ma.C., L. Márquez-Benavides, D. J. González-Pérez, and O. Buenrostro-Delgado. 2008. The effect of moisture regimes on anaerobic degradation of municipal solid waste from Metepec (Mexico). Waste Management 28, S14-S20.

Kjeldsen, P., M.A. Barlaz, A.P. Rooker, A. Baun, A. Ledin, and T.H. Christensen, 2002. Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 32(4), 297–336.

LGPGIR, 2003. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (General Law for Waste Prevention and Management). DOF (Diario Oficial de la Federación) Federal Official Newspaper. October 8, 2003. México, D. F. (in Spanish).

Lo, I., 1996. Characteristics and treatment of leachates from domestic landfills. Environment International 22, 433–444.

Lopez-Castillo, 2008. Desarrollo del proceso Anammox para el tratamiento de lixiviados: Puesta en marcha y aplicación. Tesis Doctoral. Universidad de Girona. Cataluña, España.

Márquez-Benavides, L., and I. Watson-Craik. 2003. Effect of intermediate soil cover on municipal solid waste decomposition. Water Science Technology 48(4), 245-248.

Nguyen, N.S., S. Satoshi, S. Kazunari, and I. Michihiko. 2008. Effect of aeration on stabilization of organic solid waste and microbial population dynamics in lab-scale landfill bioreactors. Journal of Bioscience and Bioengineering, 106(5), 425–432.

Pohland, F.G., and J.C. Kim. 1999. In situ anaerobic treatment lf leachate in landfill bioreactors. Water Science & Technology 40(8), 203-210.

Ravishankar, R., P. Ravichandra, and G. Mugeraya, 2007. Effect of MSW leachate recirculation frecuency on contaminants reduction. Proceedings of The Twenty Two Inter-

national Conference on Solid Waste Technology and Management. Philadelphia, PA USA, 258-269.

Reinhart, D.R., and A.B. Al-Yousfi. 1996. The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics. Waste Management and Research 14, 337-346.

Reinhart, D.R., P.T. McCreanor, and T.G. Townsend. 2002. The bioreactor landfill: Its status and future. Waste Management and Research 20, 172–186.

Sanphoti, N., S. Towprayoon, P. Chaiprasert, and A. Nopharatana, 2006. The effects of leachate recirculation with supplemental water addition on methane production and waste decomposition in a simulated tropical landfill. Journal of Environmental Management 81(1), 27-35.

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales) Environmental and Natural Resources Secretary, 2010. Normas mexicanas vigentes (Mexican Official Norms). http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/normasmexicanasvigentes.aspx?&p=1 (accessed 20.04.10.) (in Spanish).

Sponza, D.T., and O.N. Ağdağ. 2004. Impact of leachate recirculation and recirculation volume on stabilization of municipal solid wastes in simulated anaerobic bioreactors. Process Biochemistry 39, 2157–2165.

Valencia, R., W. van der Zon, H. Woelders, H.J. Lubberding, and H.J. Gijzen. 2009. Achieving ‘‘Final Storage Quality” of municipal solid waste in pilot scale bioreactor landfills. Waste Management, 29, 78–85.

Watson-Craik, I., and E. Senior. 1989. Quantitative analysis of solubilized methane in refuse leachate. Letters in Applied Microbiology 8: 49-53.

Factibilidad de estabilización alcalina de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la UAM-A

L. Londoño Montoya[1], M. Beltrán Villavicencio[2], A. González Aragón[3], A. Pérez Alva[4], L. Medina Tovar[5]
Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco
Av. San Pablo No. 180 Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200. México D.F.
colombiana44@hotmail.com

Resumen

En la planta piloto de tratamiento de aguas residuales de la UAM–A, se generan lodos procedentes de un tratamiento primario avanzado con un alto potencial de reuso como mejoradores de suelo, composta, entre otros. En este trabajo se presenta el primer paso para la estabilización y aprovechamiento de los mismos.

Una vez que se definió la generación lodos y su caracterización se procedió a la estabilización. Se aplicó un diseño de experimentos factorial de 2 factores (agente alcalino) y 3 niveles (dosis). Se experimentó con 2 productos químicos alcalinos: $Ca(OH)_2$ y NaOH; y se probaron tres dosis de $Ca(OH)_2$, una baja de 0.344 kg $Ca(OH)_2$/kg ST, una media de 1.203 kg $Ca(OH)_2$/kg ST y una alta de 1.761 kg $Ca(OH)_2$/kg ST; y tres dosis de NaOH, una baja con valores de 0.180 kg NaOH/kg ST, la media con 0.541 kg NaOH/kg ST y la alta con 0.901 kg NaOH/kg ST. 24 horas después de la estabilización, se mantuvo un pH de 9.69±0.38, 12.03±0.51, 12.5±0.15 con la adición baja, media y alta de $Ca(OH)_2$ respectivamente; y de 10.02±0.56, 11.77±0.77 y 12.72±0.12 con la adición baja, media y alta de NaOH.

La dosis media para cada uno de los compuestos químicos alcalinos fue la apropiada al alcanzar un pH de 12.03±0.51 por 24 horas con el tratamiento con $Ca(OH)_2$ y de 11.77±0.77 por 24 horas con el tratamiento con NaOH.

Con estos tratamientos se llegaron a las concentraciones estipuladas en la NOM-004-SEMARNAT-2002 en cuanto a patógenos, parásitos y metales pesados.

Palabras Clave – Biosólidos, Estabilización alcalina

Abstract

Waste sludge is generated during the operation of the advanced primary treatment (APT) process that is applied at the wastewater pilot treatment plant (WWPTP) of the Universidad Autonoma Metropolitana, Campus Azcapotzalco. This residue has a high reuse potential as soil enhancement agent or as compost. The article is related with the first stage of this sludge stabilization and reuse process.

Once sludge's production and characteristics were evaluated, alkaline stabilization process was studied. It was considered a factorial experiment design with two factors (stabilizing agent), and three levels (dose). Lime ($Ca(OH)_2$) and caustic soda (NaOH) were tested as stabilizing agents. Lime tests were conducted dosing 0.344, 1.203 and 1.761 kg $Ca(OH)_2$/kg TS for low, medium and high dose levels; while caustic soda tests were carried out adding 0.180, 0.541 and 0.901 kg NaOH/kg TS for the same three levels. 24 hours after alkaline addition, stabilized sludge's pH was measured recording the following results: 9.69±0.38, 12.03±0.51, 12.5±0.15 for low, medium and high lime stabilization; and 10.02±0.56, 11.77±0.77, 12.72±0.12 for low, medium and high caustic soda stabilization.

Medium dose for both alkaline agents were enough to maintain pH value above 12 units for 24 hours after stabilization and to comply with pathogens, parasites and heavy metals content stated at Mexican regulations for stabilized sludge (NOM-004-SEMARNAT-2002).

Keywords –Biosolids, Alkaline stabilization

INTRODUCCIÓN

En el tratamiento de agua residual, se producen "lodos" como subproductos, provenientes de sólidos originalmente presentes en el agua residual o por formación de nuevos como resultado de la transformación de sólidos disueltos y coloidales (Jiménez, 2001).

En México se han aplicado lodos o biosólidos a tierras de cultivos no restringidos, como el maíz, frijol, haba y coliflor entre otros, lo que demuestra diversos beneficios a los cultivos así como a los suelos sin embargo, se corre el riesgo de contaminar plantas y acuíferos con microorganismos patógenos y elementos químicos además de la posible existencia de olores desagradables (Murillo *et al*., 2007).

MacConnell y colaboradores (1992), estudiaron varios productos alcalinos para la estabilización de lodos municipales entre los cuales se pueden mencionar: cal hidratada, cal viva, residuos de cemento, entre otros; estos ofrecen beneficios como la reducción de patógenos y de atracción de vectores, controlan los malos olores e incrementa la concentración de sólidos. El lodo estabilizado, puede usarse como mejorador del suelo, como material de cobertura para rellenos sanitarios y como fertilizantes, entre otros.

Jiménez y colaboradores (2000), estudiaron la postestabilización alcalina de los lodos residuales con alto contenido de microorganismos patógenos para determinar la viabilidad de producir biosólidos Clase B (los biosólidos se clasifican en clase A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos [NOM-004-SEMARNAT-2002]). Los lodos fueron estabilizados usando cal viva en dosis de 15 a 40% (peso/peso). Las dosis de hidróxido de calcio, fueron determinadas por el contenido de sólidos de acuerdo al criterio de pH-tiempo y de microorganismos establecidos por la EPA.

The Greater Moncton Sewerage Commission en colaboración con la National Defence Canada ha desarrollado un programa para el manejo de los biosólidos y el rescate del campo militar de entrenamiento de la Canadian Forces Base (CFB) Gagetown, New Brunswick en el que se busca usar biosólidos estabilizados con hidróxido de calcio como mejoradores de suelo. Esto resulta ser una alternativa viable debido a que el costo en el mantenimiento de estos campos es muy alto, además del aprovechamiento de los biosólidos generados en las plantas de tratamiento (LeBlanc *et al*., 2006).

Hsiau (1997) estudió los efectos de la estabilización con hidróxido de calcio sobre el fraccionamiento y extracción de metales pesados (Cu, Pb, Cr, y Zn) en lodos residuales tratados con hidróxido de calcio, y lodos sin hidróxido de calcio. Se demostró con las pruebas realizadas, que metales como el Cu que tuvieron una mayor fragmentación en los lodos sin hidróxido de calcio, resultaron más inestables en los lodos estabilizados con hidróxido de calcio, de igual forma, los metales con una menor fragmentación (es decir, que tienen una mayor afinidad a los compuestos orgánicos) como el Zn, fueron más estables en los lodos estabilizados.

La planta de tratamiento de aguas de la UAM-A procesa las aguas negras provenientes tanto de los baños como de los laboratorios que se encuentran aproximadamente a 400 metros de la misma, a razón de 30 L/min. El proceso consiste en un tratamiento primario avanzado en donde al agua residual se le adicionan bajas dosis de coagulante ($Al_2(SO_4)_3$) y floculante (polímero aniónico de alto peso molecular y alta densidad de carga) para finalmente pasar por un proceso de sedimentación de alta tasa en donde ocurre la precipitación de lodos. La gran cantidad de lodos producidos es común en los tratamientos fisicoquímicos (Tchobanoglous, 2004), que entre otras cosas, se caracterizan por tener un alto potencial de reuso en aplicaciones agrícolas, composteo, material de relleno, entre otros, siempre y cuando sean estabilizados.

En este proyecto se determinaron las dosis adecuadas para lograr la estabilización alcalina con hidróxido de calcio e hidróxido de sodio, de los lodos generados en el tratamiento de agua en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A; de acuerdo a los criterios establecidos por la NOM-004-SEMARNAT-2002.

I. MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos para determinar las características de los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de la UAM-Azcapotzalco, así como para su estabilización se presentan en tres etapas:

1.- Muestreo de lodos

2.- Caracterización de los lodos

3.- Estabilización alcalina de lodos residuales

I.1 Muestreo de lodos

El muestreo se realizó en el tanque de estabilización de lodos en la planta de tratamiento de aguas residuales de la UAM-Azcapotzalco. El procedimiento consistió en la purga de lodos cada hora por un lapso de 5 minutos a un flujo moderado durante todo el día de operación de la planta (7 horas). Una vez que los lodos fueron homogenizados, se procedió a tomar muestras en envases de plástico de 5 L.

I.2 Caracterización de los lodos

Para la caracterización de los lodos, se determinaron, de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002, los parámetros de pH (EPA 9045C), Sólidos totales, materia orgánica, Sólidos volátiles (NMX-AA-034-SCFI-2001), Coliformes fecales, Salmonella *spp*., Huevos de Helmintos, aluminio (Al, EPA 7020), arsénico (As, EPA 7061), cadmio (Cd, EPA 7130), cobre (Cu, EPA 7210), cromo (Cr, EPA 7190), plomo (Pb, EPA 7420), mercurio (Hg, EPA 7471), níquel (Ni, EPA 7520) y Zinc (Zn, EPA 7950) (EPA, 1996).

I.3 Estabilización alcalina de lodos residuales

Para determinar las dosis adecuadas para la estabilización de los lodos residuales, se emplearon dos productos químicos alcalinos, cal ($Ca(OH)_2$) y sosa cáustica (NaOH) en dos etapas:

- Primera etapa: para determinar las dosis experimentales de ambos productos, se le adicionó a un volumen de lodos conocido, una solución con una concentración de 150,000 mg/L de $Ca(OH)_2$ comercial (o de NaOH comercial) con tiempos de retención de 1.5, 3 y 5 minutos y en constante agitación hasta alcanzar un pH mayor o igual a 12.
- Segunda etapa: se generaron curvas de estabilización a diferentes tiempos y se determinaron tres dosis: baja, media y alta. Dichas dosis se aplican a un volumen mayor de lodos en agitación y después de 2 horas se filtran en un dispositivo de filtración de residuos peligrosos Millipore para filtros de disco de 142 mm., esto con el fin de asemejar el experimento al procedimiento real. Para el control de patógenos, se mide el pH de las muestras con un medidor multiparámetro modelo sensION 156 marca HACH 24 horas después de la estabilización y finalmente a los 7 días.

Para el análisis estadístico de los resultados experimentales se utilizó el Software Statgraphics 5.1.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

II.1 Caracterización de lodos y biosólidos

En la Tabla 1 se muestran los resultados fisicoquímicos obtenidos del lodo sin estabilizar y estabilizado con los diferentes productos químicos alcalinos aplicados.

En relación al contenido de microorganismos patógenos en los biosólidos respecto a los permitidos por la norma, el lodo estabilizado con $Ca(OH)_2$ y con NaOH de la planta piloto de tratamiento puede ser clasificado como biosólido Clase A, lo que quiere decir que podría ser reutilizado para su uso urbano con contacto público directo, en cuanto al contenido de metales y metaloides, ninguno sobrepasó la norma por lo que pueden clasificarse como excelentes.

El aluminio no se encuentra normado sin embargo, las concentraciones de este metal fueron las más altas de todos los analizados, esto debido a que el sulfato de aluminio es el reactivo utilizado para la coagulación en el proceso de tratamiento del agua, el cual se precipita al reaccionar con la materia coloidal por lo que se

encuentra presente en altas concentraciones en los lodos residuales.

II.2 Estabilización de lodos con $Ca(OH)_2$

Se determinaron las cantidades máximas de $Ca(OH)_2$ para alcanzar un pH de 12 en pruebas realizadas en 11 días distintos y se obtuvieron las dosis baja, media y alta que corresponden a 0.226, 0.604 y 1.128 kg $Ca(OH)_2$/kg ST respectivamente. Estas dosis fueron adicionadas a los lodos para su estabilización.

Se realizaron 4 pruebas de estabilización con hidróxido de calcio con las tres cantidades experimentales mencionadas anteriormente y se obtuvieron los resultados que se observan en la Tabla 2. El promedio para cada una de las dosis baja, media y alta de 0.344 ± 0.037, 1.203 ± 0.130 y 1.761 ± 0.190 kg $Ca(OH)_2$/kg ST, respectivamente.

Tabla 1. Características físico químicas y biológicas de los lodos y biosólidos

Parámetro	Unidades	Sin estabilizar	Estabilizados con NaOH			Estabilizados con $Ca(OH)_2$		
			Baja	Media	alta	baja	media	Alta
pH*	Unidades de pH	7.0 ± 0.24	10.37 ± 0.878	12.07 ± 0.813	12.72 ± 0.457	10.39 ± 0.544	12.30 ± 0.293	12.46 ± 0.169
Sólidos Totales	mg/L	8 917 ± 2 428	10 380^{+}	12 470^{+}	14 780^{+}	14 407 ± 501	23 480 ± 689	125 670
Sólidos volátiles	mg/L	4 780	4 060^{+}	3 210^{+}	2 710^{+}	5 210	6 380	105 380
Coliformes fecales	UFC/mL	$14.5/10^{-5}$ $1.5/10^{-6}$	No detectado			No detectado		
Salmonella spp.	NMP/g base seca	460	No detectado			No detectado		
Huevos de Helmintos	HH/g base seca	0	No detectado			No detectado		
Aluminio	mg/kg		54 122 ± 18 913					
Arsénico	mg/kg		0.0627 ± 0.003					
Cadmio	mg/kg		4.110 ± 0.382					
Cromo	mg/kg		6.240 ± 4.262					
Cobre	mg/kg		123.030 ± 42.659					
Plomo	mg/kg		55.620 ± 26.289					
Mercurio	mg/kg		0.338 ± 0.017					
Níquel	mg/kg		16.610 ± 2.855					
Zinc	mg/kg		503.858 ± 356.179					

NR = No Reportado
UFC = Unidades Formadoras de Colonias
$^{\&}$Huevos de Helmintos viables
$^{+}$Duplicado en donde se saca el promedio
*pH tomado a las 2 horas de la adición del producto químico alcalino

Tabla 2. Dosis de $Ca(OH)_2$ aplicadas por prueba

D \ P	1	2	3	4
Baja	0.321	0.365	0.304	0.384
Media	1.124	1.278	1.065	1.343
Alta	1.647	1.871	1.559	1.967

D = Dosis, kg $Ca(OH)_2$/kg ST
P = Prueba

El diagrama de caja y bigotes (Figura 1) muestra el comportamiento del pH respecto a las dosis de $Ca(OH)_2$ que fueron adicionadas en las cuales se observa una tendencia al crecimiento de la alcalinidad mientras más producto se le adicionó. De acuerdo a la figura, existe una relación entre la dosis media y alta respecto al pH debido a la cercanía de las medias por lo que la relación es estadísticamente significativa, de tal manera que

puede utilizarse ya sea 1.203 ± 0.130 ó 1.761 ± 0.190 kg de $Ca(OH)_2$/kg ST para lograr la estabilización.

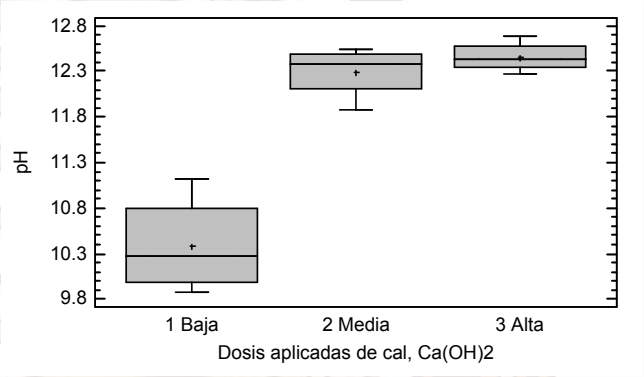


Figura 1. Diagrama de medias de las dosis de $Ca(OH)_2$

Otros autores reportan dosis de 60 a 170 g $Ca(OH)_2$/kg ST (Tchobanoglous, 2004), y de 0.12 g $Ca(OH)_2$/g ST (WEF, 1995) para lodos producidos en un tratamiento primario. Estos valores se encuentran muy por debajo de las dosis requeridas para la estabilización del lodo probado.

Sin embargo, en términos de costos, eficiencia, y volumen, es más apropiado emplear la dosis media, ya que dispone de menos reactivo, cumple el objetivo y genera menos cantidad de lodos que la dosis más alta.

II.3 Estabilización de lodos con NaOH

De la misma manera que con la cal, se determinaron las dosis experimentales de NaOH, para alcanzar un pH de 12 en 3 días de experimentación. Se alcanzaron valores desde 0.529 hasta 0.639 kg NaOH/kg ST, por lo que se decidió utilizar la dosis media de 0.562 kg NaOH/kg ST, una dosis baja de 0.187 kg NaOH/kg ST y una alta de 0.96 kg NaOH/kg ST.

Se realizaron 4 pruebas de estabilización con hidróxido de sodio en donde se adicionaron las dosis baja, media y alta que se mencionaron anteriormente. Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 3 en donde se obtuvieron los promedios de 0.180 ± 0.051, 0.541 ± 0.152 y 0.901 ± 0.254 kg NaOH/kg ST para las cantidades baja, media y alta respectivamente. Contrario a lo ocurrido en la estabilización con $Ca(OH)_2$, el NaOH disminuye la cantidad de sólidos presentes en los biosólidos.

Tabla 3. Dosis de NaOH aplicadas por prueba

D \ P	1	2	3	4
Baja	0.127	0.160	0.187	0.246
Media	0.380	0.480	0.563	0.740
Alta	0.634	0.800	0.938	1.234

D = Dosis, kg NaOH/kg ST
P = Prueba

En la figura 2 se observa el diagrama de caja y bigotes en donde se perciben diferencias estadísticamente significativas entre la dosis media y baja de sosa mientras que las dosis media y alta se encuentran relativamente cerca una de otra respecto a los valores alcanzados de pH, por lo que se puede constatar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre estas dos, lo que permite usar tanto 0.541 ± 0.152 como 0.901 ± 0.254 kg de NaOH/kg ST para el tratamiento de estabilización.

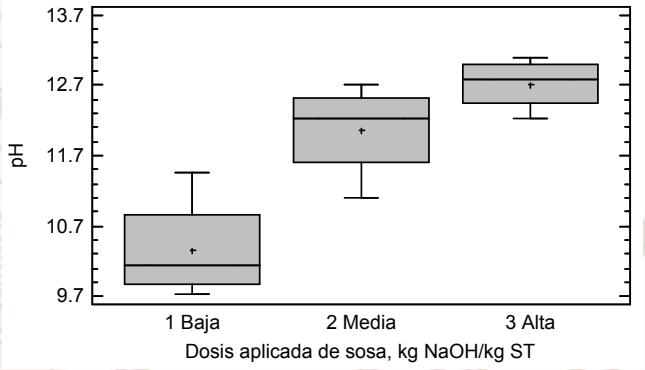


Figura 2. Diagrama de medias de las dosis de NaOH

II.4 Características de los biosólidos de $Ca(OH)_2$ y NaOH después de 7 días

- Hidróxido de calcio: después de cada estabilización, los biosólidos fueron filtrados y secados a temperatura ambiente, para después ser dispuestos en recipientes sellados. Transcurridos 7 días después del proceso, se les midió el pH y se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4 para cada una de las dosis aplicadas de $Ca(OH)_2$. Se puede observar también que los valores más altos se presentaron a las 2 horas de estabilización

mientras que el pH más bajo se observó a los 7 días.

Tabla 4. Dosis aplicadas de $Ca(OH)_2$ y pH medidos a distintos tiempos

Dosis	Cantidad aplicada (kg $Ca(OH)_2$/kg ST)	Después de 2 horas de estabilización	Después de 7 días de estabilización
Baja	0.344 ± 0.037	10.39 ± 0.54448	9.0775 ± 0.5492
Media	1.203 ± 0.130	12.29 ± 0.2925	11.1475 ± 1.05424
Alta	1.761 ± 0.190	12.46 ± 0.16939	11.4175 ± 1.1555

En lo que concierne a las características de los biosólidos tratados con $Ca(OH)_2$, se observa que la dosis baja ni siquiera llegó al pH requerido para la estabilización ni se mantuvo en éste. No obstante, tanto la dosis media como alta entran en los requerimientos de la norma, al alcanzar valores de pH por encima de 12 a las 2 y 24 horas de la adición de hidróxido de calcio.

Tomando en cuenta estas consideraciones en cuanto a costos y eficiencia es más conveniente usar la dosis media, por la cantidad de reactivo a utilizar.

- Hidróxido de sodio: el mismo procedimiento fue aplicado a los biosólidos de NaOH, los cuales se filtraron y secaron a temperatura ambiente y se almacenaron durante 7 días, momento en el cual se midió el pH. La Tabla 5 ilustra los resultados obtenidos de pH a las 2 horas y a los 7 días después de la estabilización de los lodos así como la cantidad de reactivo que se les aplico por masa de sólidos totales.

Tabla 5. Dosis aplicadas de NaOH y pH medidos a distintos tiempos

Dosis	Cantidad aplicada, (kg NaOH/kg ST)	Después de 2 horas de estabilización	Después de 7 días de estabilización
Baja	0.180 ± 0.051	10.37 ± 0.75128224	9.18 ± 0.8015
Media	0.541 ± 0.152	12.07 ± 0.6863	10.58 ± 0.3567
Alta	0.901 ± 0.254	12.72 ± 0.3749	10.92 ± 0.3346

Se puede notar que las dosis media y alta se encuentran dentro de los límites permisibles de la norma, con valores arriba de pH 12 en las 2 primeras horas y 11.5 de pH a las 24 horas de haberse adicionado hidróxido de sodio sin embargo, la dosis baja no llegó al pH requerido para la estabilización ni siquiera a las primeras horas de la aplicación por lo que esta cantidad de reactivo es insuficiente para tratar los lodos.

III. CONCLUSIONES

Con el tratamiento de estabilización alcalina (con hidróxido de calcio o con hidróxido de sodio comerciales), se logró disminuir el contenido de microorganismos presentes en el lodo por debajo de los límites permitidos por la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Los biosólidos resultantes quedaron clasificados de acuerdo a la norma como excelentes en relación a su contenido de metales pesados y de clase A en cuanto a la cantidad de patógenos y parásitos, por lo que pueden ser aprovechados para uso urbano con contacto público directo, usos forestales, mejoradores de suelo y usos agrícolas.

La cantidad de $Ca(OH)_2$ y de NaOH necesaria para elevar el pH del lodo a 12 unidades es proporcional a la cantidad de sólidos totales que contenga.

Se determinaron la dosis de $Ca(OH)_2$ y de NaOH apropiadas para la estabilización de los lodos, se requirieron 1.203 ± 0.130 kg de $Ca(OH)_2$/kg de ST y 0.541 ± 0.152 kg de NaOH/kg de ST sin embargo, fue más apropiado el uso de hidróxido de calcio comercial, ya que presentó mejores propiedades de filtrado y características organolépticas más aceptables que el hidróxido de sodio.

El tratamiento de los lodos con NaOH, no es una alternativa recomendable, ya que aparentemente reduce la cantidad de sólidos totales pero en realidad los hidroliza y los disuelve en el agua, por lo que un volumen muy alto de estos queda en el filtrado y pocos en el filtro, además el tiempo que tarda en este proceso físico es casi 10

veces más que lo que tarda con el $Ca(OH)_2$. Aunque la cal presentó un comportamiento contrario al de la sosa en relación al incremento en la cantidad de sólidos totales, no es una desventaja debido a que la generación de lodos en la planta de tratamiento no constituye un problema grave, por lo que el incremento en el volumen es despreciable y para fines del postratamiento de deshidratación en donde se utiliza un filtro prensa, el uso de $Ca(OH)_2$ es una alternativa mucho más favorable.

Para complementar el tratamiento de estabilización de lodos, es recomendable darle un uso benéfico a los mismos ya sea como mejorador de suelos, como auxiliar en el proceso de composteo, para aplicación al campo, entre muchas otras aplicaciones.

IV. RECONOCIMIENTOS

A la planta piloto de tratamiento de aguas residuales de la UAM-A y al Laboratorio de Calidad de Agua y Residuos de la UAM-A por el apoyo incondicional para la realización de este proyecto.

V. REFERENCIAS

EPA, Environmental Protection Agency (EPA) (1996). Cd, Zn, Hg, Pb, Cu, As, Ni, Cr (Atomic Absortion, Direct Aspiration). Métodos: 7130, 7950, 7471, 7420, 7210, 7061, 7520, y 7190 respectivamente. Septiembre 1996.

Hsiau, P-C. (1997). Effects of lime treatment on fractionation and extractabilities of heavy metals in sewage sludge. Journal of Environmental Science and Health, 32(9-10), 2521-2536.

Jiménez, B., Barrios, J.A., Maya, C. (2000). Class B biosolids production from wastewater sludge with high pathogenic content generated in an advanced primary treatment. Water Science and Technology, 42(9), 103-110.

Jiménez, B.E. (2001). La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. México D.F. Grupo Noriega.

LeBlanc, R. J., Allain, C.J., Downe, S., Pond, N., Laughton, P.J.(2006).A unique, environmentally sustainable and cost-effective programme to re-vegetate military training lands utilizing composted wastewater biosolids at a large Canadian military training centre. Water Science and Technology, 54(9), 61-68.

MacConnell, G. S., Brookhart, M. V., Smith, P. E., 1992. Alkaline sludge stabilization processes offer viable sludge management options. National Conference on environmental Engineering, 396-398.

Murillo T. R. M., Barrios P. J. A., Jiménez C. B. (2007). Aplicación de biosólidos como mejoradores de suelos salino-sódicos. XIII Congreso Nacional de ingeniería sanitaria y ambiental. México, D.F. Femisca.

Tchobanoglous, G. (2004). Wastewater engineering: treatment and reuse. New York: Mc Graw Hill.

NOM-004-SEMARNAT-2002. Lodos y biosólidos: especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Diario oficial. 15 de Agosto de 2003.

WEF, Water Environment Federation (1995). Wastewater residuals stabilization: manual of practice. FD-9. USA

EFECTO DE LA DEGRADACION ACELERADA DE RSU EN SU CAPACIDAD BUFFER.

Erick Alejandro Mendoza-Chávez[1], Ma. Del C. Hernández-Berriel[2], Juan M. Sánchez-Yáñez[3], Liliana Márquez-Benavides[4].
[1]Universidad de Baja California, Calle de la Normal s/n, Blvd. Benito Juárez, Col. Insurgentes Este, Mexicali, Baja California Norte-México.
[2,3, 4]Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, San Juanito Itzícuaro s/n, Col. San Juanito Itzícuaro, Morelia, Michoacán-México.
[3]Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n Ex-Rancho La Virgen, Metepec, Edo. de México, México. Ciudad, Estado, País
email: [1]alejandhro@hotmail.com; [2]hberriel_1999@yahoo.com.mx,
[3]azotobacter56@yahoo.com.mx; [4]marquez@umich.mx

Resumen

En México, la generación y composición de los RSU ha variado significativamente durante las últimas décadas, derivado de la dinámica económica, así como del crecimiento poblacional y los cambios en los patrones de consumo. La población nacional en este mismo periodo pasó de 30 millones a 105 millones de habitantes. La generación per cápita creció de 300 gr/día en 1950 a 900 gr/día en 2004. Por lo tanto se requieren de soluciones multidisciplinarias para el manejo integral de los residuos.

El objetivo de este estudio fue el analizar los cambios de la capacidad buffer producidos por la recirculación de lixiviados en los RSU del relleno sanitario del municipio de Pátzcuaro, Michoacán. Para lo cual se utilizaron 28 biorreactores escala laboratorio (BLAB) compactados a una densidad de 600 kg/m^3 y conectados a un sistema de recirculación de lixiviados con bombas peristálticas de doble flujos. El contenido del reactor se analizo cada 30 días, midiendo la capacidad buffer (CB) del material desmontado. Se encontró que la CB aumenta conforme se incrementa el tiempo de operación de los BLAB y es menor en los BLAB con recirculación que aquello sin recirculación (control). A demás que la CB es mayor en el rango ácido que en el rango básico para ambos grupos de BLAB.
Palabras Clave – Recirculación de lixiviados, Residuos sólidos, lixiviados, capacidad buffer, biorreactores.

Abstract

In Mexico, the generation and composition of municipal solid waste (MSW) have varied significantly during the last decades, as a result of economic dynamics, as well as of the population growth and changes in the consumption patterns. The national population in this same period went from 30 million to 105 million inhabitants. The generation per capita grew from 300 g/d in 1950 to 900 g/d in 2004. Hence, multidisciplinary solutions are needed to achieve an integrated MSW management.

The objective of this study was to analyze the changes of the buffer capacity produced by the recirculation of leached in the RSU of the sanitary landfill, in the municipality of Pátzcuaro, Michoacán. Laboratory scale bioreactors (LB) were used, in a number of 28, compacted to a density of 600 kg/m^3 and connected to a leachate recirculation system, using peristaltic pumps of double flows. Solid content of LBs was analyzed to test buffer capacity (BC). It was found that BC increases as it is increased the time of operation of bioreactors, and decreases in all bioreactors under recycling regimes, when compared with the control group (no leachate recycling). It was also found that the BC is greater in the acid rank that in the basic rank for both groups of LBs

Keywords - Recirculation of leached, solid waste. leached, capacity buffer, bioreactors.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las actividades cotidianas dentro de la sociedad se encuentra ligado con la generación permanente de desechos sólidos. Los resi-

duos sólidos urbanos (RSU), son todos aquellos materiales provenientes de la actividad humana y que el ser humano desecha diariamente. Estos residuos se originan en los hogares, ámbitos laborales, restaurantes, edificios administrativos, hoteles, industrias. Hoy en día la sociedad tiende en gran medida hacia los productos desechables, generándose de esta manera una necesidad de producir más y más elementos de consumo.

La mejor forma de disposición de los RSU es en un relleno sanitario (RESA), los cuales se diseñan para reducir el impacto al ambiente. Los RESA-biorreactor tienen como objeto acelerar la degradación de los RSU (Francois y col., 2007). Se han llevado acabo múltiples estudios para conocer los factores que afectan la biodegradación y el impacto que estos tienen en la producción de metano de los RSU depositados en los RESA, entre otros podemos mencionar: la temperatura, el tamaño de partículas, la edad de los RSU, la alcalinidad, la CB y el pH del sistema, los nutrientes, el contenido de humedad propio de los RSU depositados (Hernández y Col. 2005), (Robles, 2005).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de la recirculación de los lixiviados sobre la CB de los RSU en biorreactores escala laboratorio (BLAB).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo antes mencionado se analizó la capacidad buffer de RSU digeridos en biorreactores escala laboratorio (BLAB) con recirculación y sin recirculación.

En los BLAB se reprodujo las condiciones del RESA para que se diera la degradación de los RSU. Tratando de controlar lo más posible los siguientes factores:

- Medio anaeróbico
- Compactación de 600 kg/m^3
- Sistema de recirculación de lixiviado
- Caracterización de los RSU.
- Recuperación de lixiviados.
- Material de cobertura (suelo de la región)
- Válvula de remoción de biogás.

Para estimar los efectos de la recirculación de los lixiviados sobre la degradación de los RSU a diferente tiempo, se utilizaron simultáneamente 21 BLAB con tres volúmenes de recirculación (40, 60 y 80 % v/v) y 7 BLAB sin recirculación denominado grupo control, los cuales se fueron desmontando en diferentes periodos como se muestra en la Fig. 1.

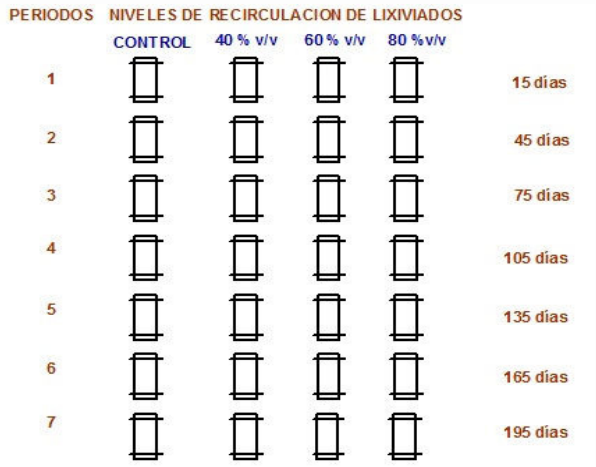


Figura 1. Diseño experimental del montado de los BLAB

Los BLAB se llenaron con 215.19 g aproximadamente de RSU preparados de acuerdo a la caracterización proporcionada por la administración del RESA de Pátzcuaro Michoacán de donde se obtuvo la muestra.

El muestreo y análisis de los RSU se realizaron al inicio y tras de cada descarga de los grupos de 7 BLAB (con recirculación del 40, 60 y 80% v/v y sin recirculación) hasta el final del experimento. Una vez desmontados los BLAB, se procedió a abrirlos. Estos residuos se pesaron e inmediatamente se les tomaron muestras para determinarles por triplicado la capacidad buffer.

Pruebas de capacidad buffer (CB).

Se prepararon en 13 vasos de precipitado con muestras de RSU por triplicado, para cada uno de los 4 grupos. A 6 de los 13 vasos se les añadió a HCl 1.0 N en los siguientes volúmenes: 0.1 mL, 0.5mL, 0.9mL, 1.4mL, 1.8mL, 2mL. A 6 vasos se

les agrego NaOH en el mismo volumen. Y al vaso restante solo se agrego agua destilada. Se llevo el volumen de todos los vasos a 20 mL. Se midió y se registro el pH. Se calcularon los miliequivalentes (mEq) y los Kg de material seco que se utilizo en cada muestra.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los principio sobre CB de suelos han sido estudiados (Nadtochy, 1993) y el conocimiento generado se ha utilizado para describir la CB en los RSU especialmente en la especiación de metales pesados (Bozkurt y col., 2000).

La CB es definida como el número de moles de H^+ o OH^+ necesarios para subir o bajar el pH de 1Kg de muestra (peso seco) en 1 unidad. Por lo tanto este valor será recíproco de la curva de titulación.

En términos simples, la CB es el equilibrio que existe entre la actividad y el cambio de acidez. En los RESA la adición o la producción de ácidos causa la disminución de del pH inicial en la matriz del sistema. Esto es seguido por la disolución de las sustancias buffer haciendo que se establezca un nuevo equilibrio, reduciendo el cambio del pH.

Los RSU fueron examinados para CB. En la Figura 2 se muestra el efecto de la recirculación sobre la CB de los RSU en los diferentes periodos de operación.

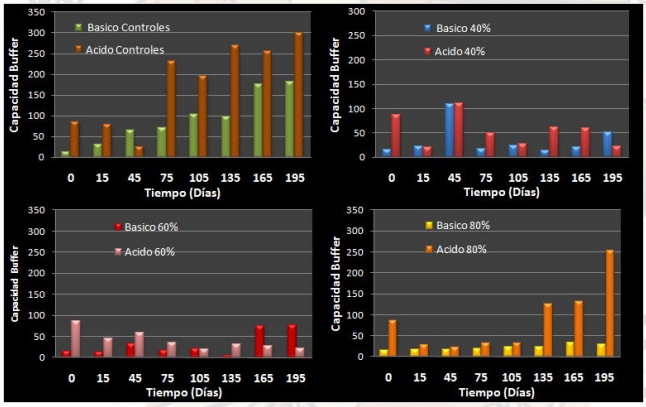


Fig. 3 Comparación de CB en RSU descargados de BLAB con y sin recirculación

IV. CONCLUSIONES

Para el tratamiento sin recirculación (el grupo control) se observo que la CB en el rango ácido y rango básico aumentan conforme se incrementa el tiempo de operación de los BLAB, mientras que en los tratamientos con recirculación (40, 60 y 80 % v/v) el incremento en la CB es menor.

El grupo del 80% v/v fue el que obtuvo un mayor acrecentamiento en la CB en el rango ácido, en comparación con los otros BLAB con recirculación.

En los BLAB con recirculación se observo que conforme se incrementa el tiempo la CB para el rango básico se mantiene constante.

RECONOCIMIENTOS

A UNIMICH, IIAF y UABC.

REFERENCIAS

Bozkurt, S., Moreno, L., and Neretniecks, I. (2000). Long term processes in waste deposits. The Science of the Total Environment. 250:101-121.

Francois V., Feuillade G. Matejka G., Lagier T., Skhiri N. 2007. Leachate recirculation effects on waste degradation: Study on columns. Elsevier.

Hernández Berriel, González López Gloria I., Alvarado Valencia Ma. Azucena. 2005. Estudio de la evolución de los residuos sólidos urbanos de Metepec en biorreactores piloto. Primer Congreso Interamericano de residuos. Mérida Yucatán.

Nadtochiy, P.P. (1993) Determination of Acid-base Buffer capacity of Soils. Eurasian Soil Science, 25(6):30-38.

Robles Martínez, F., 2005. Formación de biogás y lixiviados. En Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios. Instituto Politécnico Nacional, México, 32.

Presentación
Antecedentes
Extensos
Sede
Contacto

6. Uso de rellenos sanitarios (diseño, monitoreo, remediación de sitios clausurados).

- Análisis de incertidumbre de la estimación de generación de biogas en vertederos mediante Lógica Difusa.
- Desarrollo de una tecnología para el tratamiento de lixiviados.
- Metodología para la localización de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica. Un caso regional colombiano.
- Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Emisiones superficiales de metano en 3 sitios de disposición final de residuos sólidos en Yucatan, Mexico.

Análisis de incertidumbre de la estimación de generación de biogás en vertederos mediante Lógica Difusa

Ma. Consuelo Mañón-Salas, Amaya Lobo García de Cortázar, Ana López Martínez
Universidad de Baja California, Mexicali, B. C. N., México
consuelomanon@yahoo.es

Resumen

La degradación de la fracción orgánica de los residuos dispuestos en un relleno sanitario genera biogás que debe ser captado adecuadamente para evitar problemas ambientales como el efecto invernadero y, cuando es posible, para aprovecharlo como fuente alternativa de energía. Para evaluar tanto las posibles emisiones como el potencial energético de los residuos en el vertedero se emplean modelos matemáticos de estimación de la generación de biogás. El más empleado en todo el mundo hoy en día es el modelo de degradación con cinética de primer orden que requiere, como parámetros principales, el potencial de generación de metano (Lo) y la tasa de generación de metano (k). Estos datos suelen tomarse de la literatura o de otras instalaciones "similares". La falta de datos específicos repercute en la fiabilidad de los resultados del modelo, que tendrán más incertidumbre cuanto peor sea la calidad de la información de partida. En este trabajo se ha aplicado una técnica de lógica difusa para analizar la incertidumbre de las predicciones de generación de biogás en función del conocimiento que se tiene de las características del residuo (Lo) y el proceso de biodegradación (k).

Palabras Clave –Lógica difusa, Incertidumbre, Biogás, Modelo

Abstract

Degradation of the organic fraction of waste in a landfill generates biogas that must be captured properly to prevent environmental problems such as the effect greenhouse and, when possible, to use it as an alternative source of energy. A number of mathematical models have been developed for the assessment of possible emissions or the energy-potential of landfill gas. The most widely used in the world is the first-order kinetics, which requires, as main parameters, the ultimate methane generation potential (Lo) and the methane generation rate constant (k). These data are usually taken from literature or "similar" facilities. The lack of specific data affects the reliability of the results of the model, which will be more the worst uncertainty is the quality of the information basis. In this work a fuzzy logic technique has been applied to assess the uncertainty of landfill gas generation predictions as a function of the available knowledge about the waste characteristics (Lo) and biodegradation process (k).

Keywords– Fuzzy logic, Uncertainty, Biogas, Model

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el desarrollo de modelos matemáticos ha venido a jugar un papel clave en la estimación de emisiones de biogás de los rellenos sanitarios (RESA) a la atmósfera, debido al papel del metano en el efecto invernadero, a la salud, por razones de seguridad, para evitar incendios y explosiones. En el campo de los RESA en concreto, es habitual emplear modelos para la estimación de emisiones futuras de biogás. Entre estos modelos el más extendido es el de primer orden, implementado entre otros en el software LandGEM (EPA, 2005).

A menudo gran parte de los datos requeridos para los modelos no pueden obtenerse con precisión suficiente, por falta de información disponible y dificultad de realizar campañas experimentales. La incertidumbre en los parámetros del modelo es una de las principales causas de incertidumbre en las salidas (resultados) del mismo. En el proceso de modelado, estas incertidumbres se convierten en los principales obstáculos para obtener predicciones fiables. Para conocer la fiabilidad de las predicciones de un modelo, es esencial analizar y cuantificar su incertidumbre. Para ello se han empleado diversos enfoques, entre los que se encuentran: los modelos de pronóstico con salidas probabilísticas, el análisis

de las propiedades estadísticas de los modelos (Nix y Weigend, 1994), método de Monte Carlo (Arellano *et al.,* Moreno 2001), y lógica difusa (Halkidis *et al.,* 2009; John y Innocent, 2005; Klimke, 2006; Ming-In y Wen-Shyong, 2007; Sierra y Álvarez, 2007). En trabajos donde se ha empleado lógica difusa, ésta ha demostrado ser una buena alternativa al enfoque probabilístico (Abebe *et al*., 2000; Kumar y Schuhmacher 2005).

En este trabajo se ha empleado un método de técnica difusa para cuantificar la incertidumbre en la estimación de las emisiones de biogás a lo largo del tiempo basada en el modelo de primer orden.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Generalidades lógica difusa

En la teoría clásica de conjuntos, los elementos **x** de un conjunto **A** pertenecen al conjunto completo, con un nivel de composición $\mu_A=1$, o no pertenecen al conjunto $(\mu_A=0)$. Este principio se generaliza en la teoría de conjuntos difusos (Zadeh, 1965, 1978), un nivel de membresía $\mu_A(x) \in [0,1]$ es asignado a todos los elementos **x**, es decir, los elementos pertenecen al conjunto en cierto grado. El núcleo del conjunto difuso de define como el subconjunto para el cual $\mu_A=1$. El soporte es el subconjunto para el cual $\mu_A>0$ (o soporte Vertex). El α-corte es el subconjunto para el cual $\mu_A \geq \alpha$, con $0<\alpha\leq 1$. Un *número difuso* es un conjunto difuso con las propiedades (convexidad y normalidad). La función de membresía de un número difuso puede tener una forma arbitraria, derivada de los datos experimentales o del conocimiento del experto sobre los parámetros del modelo. La forma triangular es la más usada debido a su simplicidad, cuando la distribución de los parámetros se desconoce. La *función de membresía*, es una función de distribución de posibilidad que indican si una entrada es posible $(\mu A=1)$, imposible $(\mu A=0)$ o algo entre ambos. La *técnica α-corte,* consiste de subdividir el rango de membresía de un numero difuso en α-subniveles, $\mu j = j/m$ para $j=0,1,..,m$. Esto permite representar el numero difuso por un conjunto de m+1 intervalos $[a^{(j)}, b^{(j)}]$. La figura 1 muestra un numero difuso triangular, subdividido en intervalos usando m=5 (Doonders *et al*., 2004; Dubois y Prade, 1979).

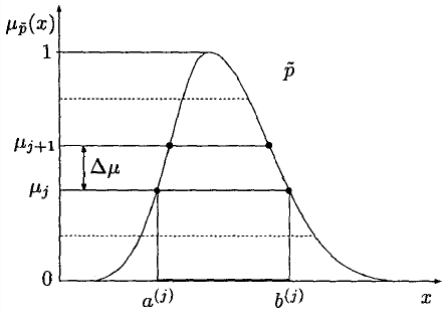


Figura 1. Técnica α-corte para representar un número difuso.

2.2 Descripción del Método de transformación

El método de transformación, es una extensión del método Vertex, basado en la metodología de diseño de experimentos (DE) y la aritmética tradicional. Un DE es un conjunto de experimentos diseñado para proveer la máxima información usando el mínimo esfuerzo computacional. El Método Vertex ejecuta un análisis factorial completo, sobre las entradas Vertex (soporte) del problema difuso. A cada ***n*** parámetros de entrada les asigna un mínimo y un máximo valor, así como a todas las posibles combinaciones de los parámetros. En el método de transformación MT, las entradas difusas son subdivididas en un número de intervalos, posteriormente se les realiza el análisis factorial completo para cada uno de los intervalos. Existe un método general de transformación (Hanss, 2002) y uno extendido (Hanss, 2003) los cuales agregan mas puntos al DE. En este trabajo, se emplea el método de transformación MT, presentado por Hanss (2000), que utiliza un enfoque de α-corte difuso basado en intervalos aritméticos. Proporciona una medida de influencia para analizar cuantitativamente el sistema de incertidumbre con respecto a cada parámetro del modelo sobre la totalidad de la incertidumbre del modelo

2.2.1 Descomposición de los parámetros de entrada difusos.

Para el análisis de incertidumbre, es necesario que cada parámetro $\tilde{p}_i$, i=1,2…n se descomponga

en α-cortes, definiendo al conjunto principal:

$$P_i = \{X_i^{(0)}, X_i^{(1)}, X_i^{(m)}\} \quad (1)$$

De (m+1) intervalos:

$$X_i^{(j)} = [a_i^{(j)}, b_i^{(j)}],\ a_i^{(j)} \le b_i^{(j)}, \quad (2)$$

i=1,2,…n, j=0,1,…m

Con el propósito de realizar la descomposición en α-cortes, el eje μ se subdivide en *m* segmentos, igualmente espaciados $\Delta\mu = 1/m$ (Fig 1) y en (m+1) niveles de membresía μ_j dados por:

$$\mu_j = j/m, \quad j=0,1....m \quad (3)$$

2.2.2 Transformación de intervalos de entrada.

Los intervalos $X_i^{(j)}$, i=1,2,..,n de cada nivel de membresía (μ_j), los μ_j-cortes, j=0,1,...,m son transformados dentro de un arreglo $\hat{X}_i^{(j)}$ tal que:

$$\hat{X}_i^{(j)} = \left(\overbrace{\left(\alpha_i^{(j)}, \beta_i^{(j)}, \alpha_i^{(j)}, \beta_i^{(j)} ..... \alpha_i^{(j)}, \beta_i^{(j)}\right)}^{2^{i-1}\,pares} \right) \quad (4)$$

$$\text{Con } \alpha_i^{(j)} = \left(\underbrace{a_i^{(j)}, ...a_i^{(j)}}_{2^{n-i}\,elementos} \right), \beta_i^{(j)} \left(\underbrace{b_i^{(j)}, ...b_i^{(j)}}_{2^{n-i}\,elementos} \right) \quad (5)$$

2.2.3 Evaluación del modelo.

Asumiendo que el problema está dado por la ec. 1, la estimación se lleva a cabo calculando separadamente cada una de las columnas del arreglo. Por lo tanto, si las salidas $\hat{q}$, del modelo pueden ser expresadas en forma descompuesta y transformadas en los arreglos $\hat{Z}^{(j)}$, *j=1,2,..,m*, del k-ésimo elemento $k_{\hat{Z}(j)}$ del arreglo $\hat{Z}^{(j)}$ que esta dado por:

$$k_{\hat{Z}(j)} = F\left(k_{\hat{x}_1^{(j)}}, k_{\hat{x}_2^{(j)}}, ..., k_{\hat{x}_n^{(j)}} \right), \text{k=1,2,..,}2^n \quad (6)$$

Donde $k_{\hat{x}_i^{(j)}}$ denota el K-ésimo elemento del arreglo $\hat{X}_i^{(j)}$.

2.2.4 Retransformación de la salida.

Finalmente el resultado del valor difuso $\hat{q}$ puede calcularse en su forma descompuesta en (m+1) intervalos: $Z^{(j)} = [a^{(j)}, b^{(j)}],\ a^{(j)} \le b^{(j)},\ j=0,1,..,m$ (7)

Por retransformación del arreglo $\hat{Z}^{(j)}$, *j=0,1,..,m* incluyendo un procedimiento de corrección de acuerdo a las formulas:

$$\begin{aligned} a^{(j)} &= \min_k(a^{(j+1)}, k_{\hat{z}(j)}) \\ b^{(j)} &= \max_k(b^{(j+1)}, k_{\hat{z}(j)}) \end{aligned}, \text{ j=0,1,.., m-1} \quad (8)$$

$$\text{Y } a^{(m)} = \min_k(k_{\hat{z}(j)}) = \max_k(k_{\hat{z}(m)}) = b^{(m)} \quad (9)$$

Desde el punto de vista geométrico, la implementación de la aritmética difusa en MT, es interpretado como una serie de evaluaciones del problema para diferentes conjuntos de valores en los parámetros, que son vistos como puntos de coordenadas (n-1) dimensionales de la hípersuperficie de un número de m+1 cuboides de n-dimensiones, anidados de acuerdo a su nivel de membresía. Cada uno de los cuboides en el dominio n-dimensional, es atravesado por los intervalos asignados a ***n*** parámetros de un cierto nivel de membresía. El cuboide del nivel de membresía ***μ=1***, se degenera en un único punto (Fig 2). Si se aplica el método de transformación en su forma reducida, se consideran sólo los 2^n puntos del vértice del n-dimensional cuboide para la evaluación del problema (Hanss 2000 y 2002).

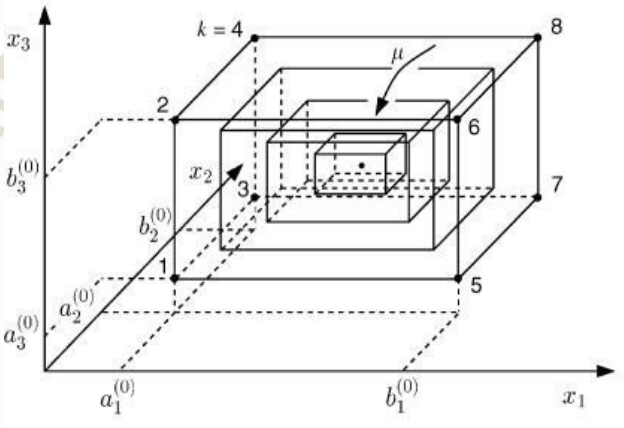


Figura 2. Interpretación geométrica del método de transformación reducida.

2.3. Análisis de incertidumbre en parámetros del modelo.

Con el fin de realizar el análisis de incertidumbre, los coeficientes $n_i^{(j)}$ i=1,2,…n, j=0,1,.., m, son calculados de acuerdo a:

$$n_i^{(j)} = \frac{1}{2^{n-1}\left(b_i^{(j)} - a_i^{(j)}\right)} \sum_{k=1}^{2^{n-i}} \sum_{l=1}^{2^{i-1}} \left(k_{2\bar{z}(j)} - k_{1\bar{z}(j)}\right) \quad (10)$$

$$k_1 = k + (l-1)2^{n-i+1} \text{ y } k_2 = k + (2l-1)2^{n-i} \quad (11)$$

Los valores $a_i^{(j)}$ y $b_i^{(j)}$ definen el límite superior e inferior del intervalo $X_i^{(j)}$, y $k_{\bar{z}(j)}$ es el k-ésimo elemento del arreglo $\bar{z}^{(j)}$. El coeficiente $n_i^{(j)}$ es interpretado como un factor que expresa el efecto de la incertidumbre del i-ésimo parámetro sobre la incertidumbre de la salida *z* del problema en el nivel de membresía μ_j. Puede ser independiente de un nivel de membresía, para un determinado nivel. El factor $n_i^{(j)}$, se calcula con:

$$\bar{n}_i = \frac{\sum_{j=1}^{m-1} \mu_j \eta_i^{(j)}}{\sum_{j=1}^{m-1} \mu_j} \quad (12)$$

Explícitamente, $n_i^{(j)}$ dentro del rango de la incertidumbre cubierta por el nivel de membresía μ_j, desviaciones $\Delta z^{(j)}$ desde el valor central de la salida del numero difuso $\hat{q}_i$ puede ser considerada como una relación de las desviaciones $\Delta x_i^{(j)}$ desde el valor central de los parámetros difusos p_i, i=1,2,…n, por aproximación. Por último, como medida general de influencia, los valores normalizados de p_i son calculados para i=1,2…n de acuerdo a:

$$p_i = \frac{\sum_{j=1}^{m-1} \mu_j \left| \eta_i^{(j)}\left(a_i^{(j)}, b_i^{(j)}\right)\right|}{\sum_{q=1}^{n} \sum_{j=1}^{m-1} \mu_j \left| \eta_q^{(j)}\left(a_q^{(j)}, b_q^{(j)}\right)\right|} \quad (13)$$

que satisface la condición $\sum_{i=1}^{n} p_i = 1$ (14)

De esta forma, los valores de p_i cuantifican la influencia del i-ésimo parámetro $\bar{p}_i$ sobre la variación general de la salida del problema z, suponiendo que cada parámetro será relativamente variado en la misma proporción (Hanss, 2005).

2.4. Descripción modelo de Biogas.

El modelo de generación de gas LandGEM (Landfill Gas Emissions Model) desarrollado por la EPA (2005), es una herramienta que estima las tasas de emisión de gases del RESA, metano, dióxido de carbono, compuestos orgánicos y otros contaminantes en el aire. Hoy en día su uso es generalizado en todo el mundo.

2.4.1 Ecuación de primer grado

LandGEM utiliza una ecuación de biodegradación de primer grado para cuantificar las emisiones anuales a lo largo del tiempo, producidas por la degradación de los residuos en el RESA. La generación total de biogás se estima multiplicando la generación de metano (15) por dos (asume que el biogás está compuesto de 50% metano y 50% dióxido de carbono).

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0.1}^{1} kL_o \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt} ij \quad (15)$$

Donde:

Q_{CH4}= Generación anual de metano en el año de calculo (m^3/año).

i = Un año de incremento en el tiempo.

n= (Año del cálculo) – (año de inicio de recepción de residuos).

j = 0.1 incremento en el tiempo por año.

k = Tasa de generación de metano (1 / año).

L_o = Capacidad de generación potencial de metano (m^3 / Mg).

M_i = Masa de residuos sólidos aceptados en el i-ésimo año (Mg).

t_i = Edad de la j-ésima sección de la masa de residuos M_i aceptada en el i-ésimo año.

$\sum_{i=1}^{n}$ = Suma desde el año de apertura +1 (i=1) hasta el año de proyección (n).

El modelo, por tanto, se basa en dos parámetros principales: k y L_0. En el mismo software la EPA (2005), propone valores predeterminados de los parámetros, en caso de que no se puedan medir experimentalmente. Presenta dos opciones: los valores de la CAA (Clean Air ACT) y los valores de Inventario. Los primeros pueden utilizarse si el RESA está sujeto a control. El segundo se usa para hacer estimaciones sobre generación de emisiones en ausencia de datos específicos del lugar.

2.4.2 Tasa de generación de metano k

Determina la velocidad de generación de metano en el RESA. El valor de k esta en función del contenido de humedad, pH y temperatura de la masa de los residuos, y de la disponibilidad de nutrientes para las bacterias generadoras de metano. Los valores de k propuestos por la EPA (2005), se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de la Tasa generación de Metano (*k*), propuestos por la EPA (2005).

Estándar	Tipo Relleno	*k (1/año)*
CAA	Convencional	0.05
CAA	Zona Arida	0.02
Inventario	Convencional	0.04
Inventario	Zona Arida	0.02
Inventario	Húmedo(Brx)	0.70

2.4.3 Generación potencial de metano (L_0)

La generación potencial de metano, L_0, describe la cantidad de gas metano producida en un metro cúbico de residuos. En teoría, su valor depende del tipo y composición de los residuos presente en el RESA. Conforme el contenido de celulosa en los residuos aumenta, el valor de L_0 también aumenta. En práctica, el valor teórico de L_0 no podría ser alcanzado en regiones de clima seco donde la humedad en los residuos es muy baja o inexistente, provocando la inhibición de las bacterias generadoras de metano. La Tabla 2, muestra los valores de L_0, propuestos por la EPA (2005).

Tabla 2. Valores de Capacidad potencial de generación de Metano (L_0), propuestos por la EPA (2005).

Estándar	Tipo Relleno	L_0 (m^3/ Mg)
CAA	Convencional	170
CAA	Zona Arida	170
Inventario	Convencional	100
Inventario	Zona Arida	100
Inventario	Húmedo(Brx)	96

III. RESULTADOS Y DISCUSION

Como ejemplo de aplicación de la metodología descrita para evaluación de la incertidumbre se estimó la cantidad de metano generado a lo largo del tiempo en un RESA "tipo B", que se caracteriza por recibir entre 50-100 toneladas de residuos diarios (SERMANAT, 2007). Se analizaron 15 años de explotación y 20 años después de la clausura. Aceptando que el técnico no dispone de información sobre las características climáticas del área donde se asienta el RESA, los rangos que tiene como referencia si consulta la documentación general del modelo LandGEM (EPA, 2005) son [0.02, 0.7] para *k* y [96,170] para L_0 (Tablas 1 y 2), y si considera el modelo mexicano de biogás se tiene [0.04, 0.08] para k y [60, 84] para L_0, los cuales se presentan en la Tabla 3 (EPA, 2009). Los resultados en cada caso serán diferentes, como se muestra a continuación.

Tabla 3. Valores de K y Lo de acuerdo a la cantidad de precipitación.

Precipitación (mm/año)	k (por año)	Lo (m3/ton)
0 – 249	0.04	60
250 – 499	0.05	80
500 – 999	0.07	84
≥ 1000	0.08	84

3.1 Referencia general del modelo LandGEM.

3.1.1 Estimación de la generación de gas

Tanto k como L_0 se pueden modelar como números difusos triangulares, definidos por los extremos de rango con nivel de membresía 0, y los valores correspondientes al "RESA convencional" como valores con nivel de membresía 1. En la tabla 4 se presentan los valores de k y L_0 cuando son calculados para cada nivel α-corte, al ser descompuestos en intervalos.

Una vez definidos los intervalos $X_i^{(j)}$, son transformados en el arreglo $\bar{X}_i^{(j)}$ de acuerdo a las ecuaciones 4 y 5. La tabla 5 presenta la matriz generada para $\bar{X}_i^{(j)}$ con los parámetros *p1 y p2* para los niveles μ=0, 0.5 y 1.

Tabla 4. Intervalos de los parámetros *k y L_0*.

$X_i^{(j)}$	*k*		*L_0*	
α	a_1	b_1	a_2	b_2
A(0)	0.02	0.7	96	170
A(0.5)	0.03	0.37	98	135
A(1)	0.04	0.04	100	100

Tabla 5. Valores de la matriz $\bar{X}_i^{(j)}$ *para k y L_0*

$X_1^{(0)}$	0.02	0.02	0.7	0.7
$X_2^{(0)}$	96	170	96	170
$X_1^{(1)}$	0.03	0.03	0.37	0.37
$X_2^{(1)}$	98	135	98	135
$X_1^{(2)}$	0.04	0.04	0.04	0.04
$X_2^{(2)}$	100	100	100	100

Para evaluar el modelo, se toman de la tabla 5 las columnas de la matriz $X_i^{(j)}$. Cada columna representa una posible combinación en los intervalos de los parámetros k *y* L_0. Con cada par de valores del arreglo $\hat{Z}_i^{(j)}$ se evalúa el modelo de la ecuación 15, generando los resultados del sistema. En la tabla 6, se muestran los intervalos al ser transformados en cada nivel.

Tabla 6. Valores del arreglo $\hat{Z}_i^{(j)}$

α = 0		α = 0.5		α =1	
0.02	96	0.03	98	0.04	100
0.02	170	0.03	135	0.04	100
0.7	96	0.37	98	0.04	100
0.7	170	0.37	135	0.04	100

Generados los resultados para cada combinación de parámetros, se selecciona el mínimo y máximo resultado de cada nivel (en este caso para cada año), calculando la salida $\hat{q}$ mediante las ecuaciones 8, 9. Dando lugar a las emisiones de metano que se presentan en la figura 3.

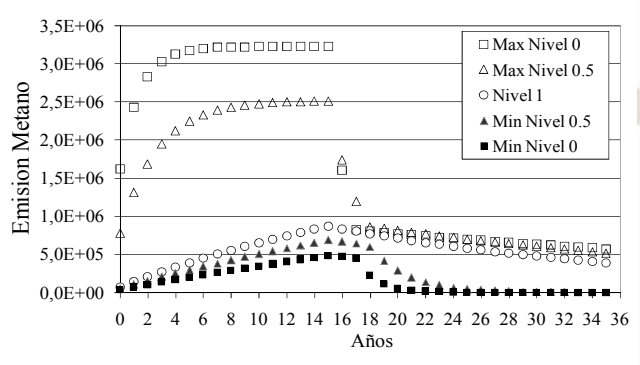


Fig 3. Generación Metano 3 niveles a través del tiempo.

En la figura 3, se observa gran variación de los resultados obtenidos según cuál sea el valor adoptado de los parámetros, de hasta un 24-99% durante los primeros 15 años si se tiene en cuenta el rango más amplio de referencia (nivel 0), y de un 34-99 % si se consideran los parámetros más acotados (nivel 0.5), y un 0-16 % y 0-27 % en ambos casos tras la clausura.

En la figura 4 se muestran los valores acumulados de las emisiones de metano generados con el modelo LandGEM, donde el nivel 1 alcanza un valor de 19,824,440 m^3/año a los 35 años, el cual se encuentra más cerca de los valores mínimos para los niveles 0 y 0.5 que de los máximos.

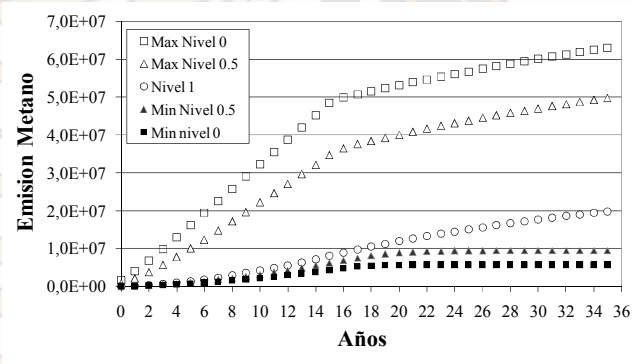


Fig 4. Generación acumulada de Metano en los 3 niveles a través de los años.

3.1.2 Análisis de incertidumbre

Hasta ahora, los resultados solo muestran la influencia combinada de la incertidumbre en los 2 parámetros (k y L_0). Siguiendo las ecuaciones 10 y 11, es posible determinar el porcentaje en que los parámetros del modelo contribuyen por separado en la incertidumbre total de su salida, para cada nivel. En la figura 5 se muestra la incertidumbre asociada a cada parámetro en el nivel 0.5 hasta el año 35. Como se pone de manifiesto, el valor de L_0 condiciona el valor máximo de generación que se alcanza al cerrar el RESA, mientras que la influencia de k, la velocidad de degradación, se nota más adelante, al condicionar el tiempo en que el residuo acaba de degradarse.

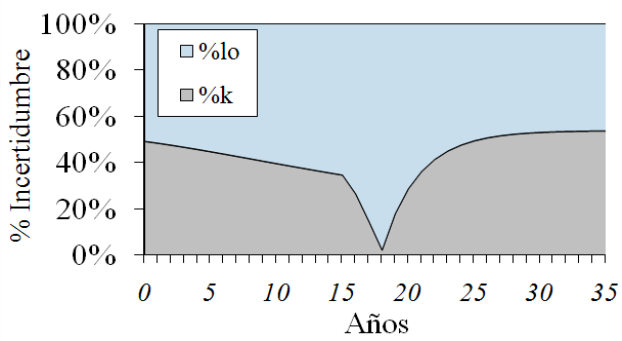


Fig 5.Incertidumbre (%) en parámetros k y L_0 del modelo LandGEM.

3.2 Modelo Mexicano de biogás

El modelo Mexicano de biogás Versión 2.0, es utilizado para estimar la generación y recuperación de biogás en RESAs mexicanos que cuenten o planeen tener un sistema de recolección de biogás.

3.2.1 Estimación de la generación de gas

El rango de valores de k y L_0 disminuye si se consideran valores de la tabla 3, que toman como referencia características de los residuos y del clima en México (EPA, 2009). La figura 6 presenta los resultados obtenidos, después de aplicar la metodología en los 3 niveles de α-corte durante los 35 años.

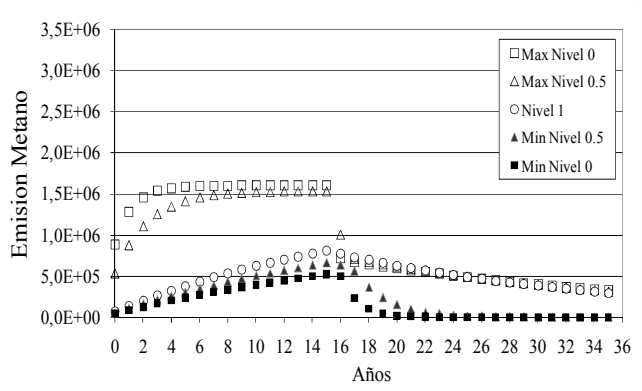


Fig 6. Generación Metano 3 niveles a través de los años, segunda prueba.

En la figura 6, se observa una variación de los resultados de 4.58-136.94% durante los primeros 15 años para el nivel 0, y de un 1.10-74.59 % si se consideran los parámetros en el nivel 0.5, y un 141-192 % y 76.85-105.50 % en ambos casos tras la clausura.

En la figura 7 se muestran los valores acumulados de las emisiones de metano generados con el modelo Mexicano, donde el nivel 1 alcanza un valor de 17,709,721 m^3/año a los 35 años, el cual se encuentra más cerca de los valores mínimos para los niveles 0 y 0.5 que de los máximos.

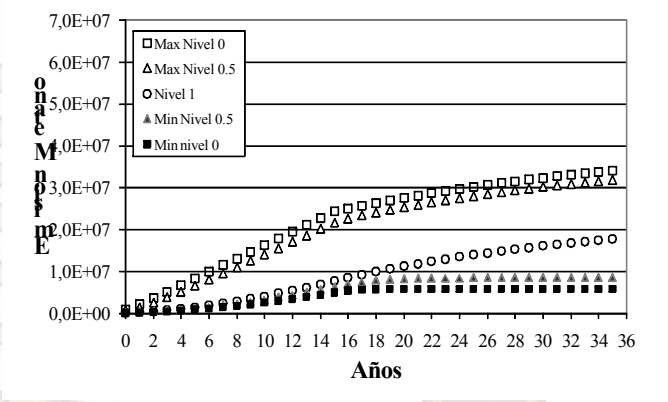


Fig 7. Generación acumulada de Metano en los 3 niveles a través de los años, segunda prueba.

3.1.2 Análisis de incertidumbre

La figura 8 muestra los porcentajes de incertidumbre asociada a k y L_0, evaluados con los valores tomados en la tabla 3. Se observa que k decrece alcanzando su mínimo valor en el año 17, complementariamente L_0 se incrementa y presenta su máximo valor el mismo año.

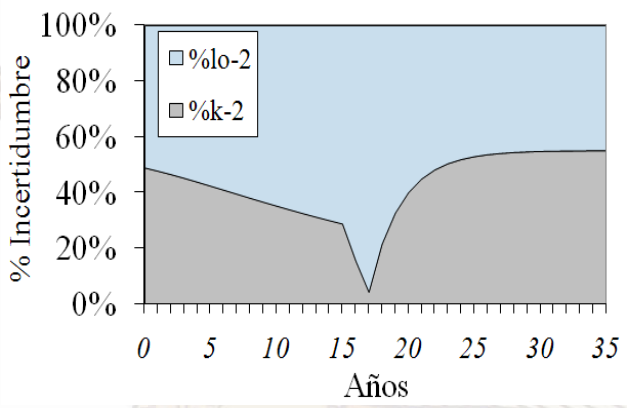


Fig 8. Porcentaje de incertidumbre en los parámetros k *y* L_0, para el modelo Mexicano.

3.2 Comparación de resultados

La cantidad de biogás generado y las tasas de generación a lo largo del tiempo calculadas con el modelo estudiado varían en gran medida según los rangos de referencia que se aplican. Con la referencia general (EPA, 2005) se obtiene una generación total de 57,466,015 en el nivel 0 y 40,315,927 nivel 0.5 y una tasa promedio de 19,824,440 mientras que adoptando la referencia específica de México estos rangos son 57,466,015 y 40,315,927 con un promedio de 19,824,440.

En cuanto a la incertidumbre asociada a cada parámetro, la forma del modelo hace que en ambos casos la tendencia en el tiempo sea similar, con mayor influencia de L_0 en los primeros años, que disminuye tras la clausura. En todo caso la influencia de cada parámetro varía al cambiar el intervalo de referencia, y por eso las Figuras 5 y 8 presentan diferencias, en este caso no muy elevadas por no ser radicalmente diferentes los rangos manejados. En la figura 9, se observan ligeras diferencia entre los porcentajes de incertidumbre, que presentaron ambos modelos.

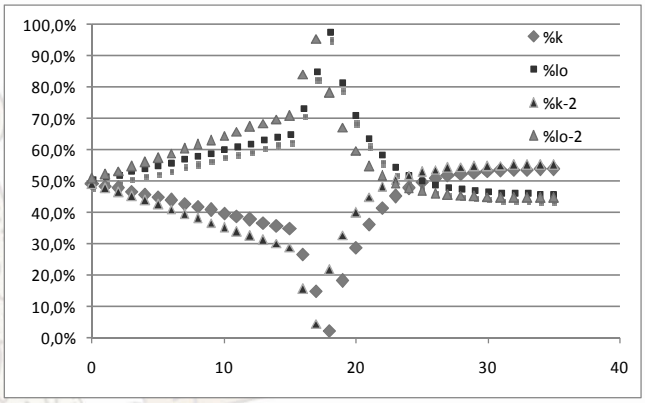


Fig. 9 Comparación de incertidumbre entre resultados de los dos modelos.

IV. CONCLUSIONES

Como se ha visto, los resultados obtenidos en la estimación de emisiones varían en gran medida según los valores paramétricos adoptados, aun manteniéndolos dentro de los rangos de referencia.

Las diferencias de estimación en un proyecto, pueden suponer grandes desviaciones en la evaluación de las cantidades de carbono emitidas a la atmósfera, o un gran riesgo en la toma de decisiones de inversión en equipos de aprovechamiento del metano como fuente de energía alternativa. De ahí la importancia de acotar en lo posible los rangos de valores paramétricos para cada situación estudiada, bien sea mediante estu-

dios experimentales o recurriendo a la literatura en busca de casos en condiciones similares, para aumentar la fiabilidad del modelo.

Frente a otras técnicas, el método de transformación elegido, basado en lógica difusa, es sencillo, de fácil aplicación y novedoso; sólo requiere la evaluación del modelo en los conjuntos de valores paramétricos, que corresponden a cada nivel de confianza que se quiere analizar.

En este trabajo se ha presentado, como ejemplo, su aplicación a un modelo sencillo, pero sus características lo hacen especialmente indicado para la evaluación de incertidumbre de modelos más complejos.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece al CONACYT por la beca otorgada para la realización de una estancia en España, así como a la Universidad de Cantabria por el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

Abebe A.J., Guinot, V., y Solomatine, D.P., 2000. Fuzzy alpha-cut vs. Monte Carlo techniques in assessing uncertainty in model parameters. Proc. 4th Int. Conf. on Hydroinformatics. Iowa City, USA.

Arellano M. y Bond S. 1991. Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations. The Review of Economic Studies, Vol. 58, No. 2. 277-297.

Donders S, Vandepitte D., Van de Peer J. Y Desmet. W. 2004. The Short Transformation Method to Predict the FRF of Dynamic Structures subject to Uncertainty. Proceedings of ISMA. 3043-3054

Dong,W., Shaw,H., 1987. Vertex method for computing functions of fuzzy variables. Fuzzy sets and Systems, Vol 24, 65-78.

Dubois D. y Prade H. 1979. Fuzzy Real Algebra: Some Results. Fuzzy Sets and Systems 2, 327-348

EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2005. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. Office of Research and Development Washington. D.C.

EPA (U.S Environmental Protection Agency). 2009. Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0 Landfill Methane Outreach Program, Washington, D.C.

Halkidis I.N, Tzimopoulos D, Evangelides H., Makrantonaki M. 2009. Soil Water Management Problem Using Fuzzy Arithmetic. Global NEST Journal, Vol 11, No 4, 556-565.

Hanss, M. 2000. A Nearly Strict Fuzzy Arithmetic for Solving Problems with Uncertainties. Institute A of Mechanics University of Stuttgart, IEEE.

Hanss, M. 2001 A Fuzzy Arithmetical Approach to Robust Control. Institute A of Mechanics University of Stuttgart, IEEE.

Hanss, M. 2002. The Transformation Method for the simulation and analysis of systems with uncertain parameters. Fuzzy Sets and Systems, 130(3):277–289.

Hanss, M. 2003a. The Extended Transformation Method for the Simulation and Analysis of Fuzzy-Parameterized Models. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 11(6), 711–727.

Hanss, M. 2003b. An Approach to Inverse Fuzzy Arithmetic. Institute A of Mechanics University of Stuttgart, IEEE.

Hanss, M. 2005. Applied Fuzzy Arithmetic. An Introduction with Engineering Applications. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Printed in The Netherlands

John R. I y Innocent P. R. 2005. Modeling Uncertainty in Clinical Diagnosis Using Fuzzy Logic. IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics. Vol. 35, No. 6

Klimke W. A. 2006. Uncertainty Modeling using Fuzzy Arithmetic and Sparse Grids. Institut für Angewandte Analysis und Numerische Simulation, Universität Stuttgart. Tesis de doctorado.

Kumar V. y Schuhmacher M. 2005. Fuzzy uncertainty analysis in system modelling. European Symposium on Computer Aided Process Engineering , 2005.

Ming-In Ho y Wen-Shyong Yu 2007. Design of Adaptive Fuzzy Controller for Uncertain Fuzzy Systems with Multiple Time Delays. IEEE.

Moreno R.J. y Crosetto M. 2001. Análisis de la incertidumbre en modelos de teledetección. Teledetección, Medio ambiente y Cambio Global. 538-541

Nix, D. and Weigend, A., 1994. Estimating the mean and variance of the target probability distribution, Proc. of the Int. Joint Conference in Neural Networks, IEEE, 55-60

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2007). Normas mexicanas vigentes. (Documento Web, Último acceso: Diciembre 15, 2007) http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/ Pages/normasmexicanasvigentes.aspx

Sierra D. C, y Álvarez H. D. 2007. Including an Index for Estimating Uncertainty, Distribution and Cohesion of Data in Fuzzy Modeling. Revista Avances en Sistemas e Informática, Vol. 4 No. 1.

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets. Information and Control, 8: 338-353.

Zadeh L. A., 1978. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, Fuzzy Sets Syst., Vol. 1, 3-28.



Desarrollo de una tecnología para el tratamiento de lixiviados

Roger Iván Méndez Novelo, Elba René Castillo Borges[1], María Rosa Sauri Riancho[2], Icela Dagmar Barceló Quintal[3] y Rosa María Ramírez Zamora[4].
Universidad Autónoma de Yucatán
Mérida, Yucatán, México
mnovelo@uady.mx

Resumen

Se presentan los resultados de diferentes tratamientos fisicoquímicos (coagulación/floculación / sedimentación, flotación, adsorción con carbón activado, Fenton, Fenton/filtración/adsorción) ensayados a los lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Mérida.

En el relleno sanitario de la ciudad de Mérida se utiliza como material de cubierta un material calizo denominado sahcab que le infiere a los lixiviados características especiales, tanto físicas (baja concentración de sólidos suspendidos al someterse a una filtración fina) como químicas (elevadas concentraciones de calcio y de alcalinidad). Adicionalmente y debido a que las precipitaciones pluviales más intensas se presentan durante los meses de junio a octubre, los volúmenes de lixiviado generados tienen que ser almacenados en lagunas de evaporación en las que mezclan los lixiviados de las celdas de diferentes edades, posteriormente son bombeados nuevamente a las propias celdas lo que propicia que los lixiviados posean características combinadas de lixiviados jóvenes con lixiviados viejos.

Los mejores resultados obtenidos a la fecha son: para el proceso coagulación / floculación / sedimentación remociones del 47% de DQO a valores de pH < 2; para la flotación 37% de DQO a pH = 2 y presión de 5 kg/cm^2, para la adsorción se obtuvieron remociones de 70% de DQO, para el proceso Fenton del 72% de DQO a pH = 4 y para Fenton/filtración/adsorción remociones de 98.9% para la DQO y 100% del color.

Palabras Clave. Lixiviados, relleno sanitario, flotación, coagulación/floculación, flotación, Fenton.

Abstract

Results from applying different physicochemical treatments (coagulation / flocculation / sedimentation, flotation, activated carbon adsorption, Fenton, Fenton/filtration/adsorption) for treating leachates from the landfill of Merida city are presented.

In the Merida landfill a non consolidated calcite called locally “sahacab” is used as cover material. This material affects leachate physical and chemical characteristics (low suspended solids concentrations because leachates undergo through a fine filtration, high alkalinity and calcium concentrations). Additionally, and due to the fact that the most intense precipitations fall during the rainy season, from June to October, the leachates generated have to be stored in evaporation ponds, where they mix with all others coming from cells with different ages. Then, they are pumped again to the cells; therefore, leachates have combined young and old leachates characteristics.

The best results obtained up to date are: 47% COD removal at pH<2 for the coagulation/flocculation/sedimentation process; for flotation, 37% COD removal at pH = 2 and a pressure of 5 kg/cm^2; for the adsorption process 70% of COD removal was obtained; the Fenton process reported 72% of COD removal at a pH = 4; and for the Fenton/filtration/adsorption, removal rates up to 98.9% of COD and 100% were obtained.

Keywords. Leachates, landfill, coagulation / flocculation, landfill, flotation, Fenton.

1. Universidad Autónoma de Yucatán, cborges@uady.mx
2. Universidad Autónoma de Yucatán, sriancho@uady.mx
3. UAM-A, ibarceloq@gmail.com
4. Instituto de Ingeniería, UNAM, RRamirezZ@iingen.unam.mx

I. INTRODUCCIÓN

Los lixiviados son el resultado de la percolación de líquidos a través de los desechos en proceso de estabilización, es decir, líquidos que afloran a la superficie o se infiltran hacia el terreno donde hay instalado un relleno sanitario o un vertedero de basura. Los lixiviados presentan altas cargas de Carbono Orgánico Total (COT) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), por lo que contienen cantidades considerables de materia orgánica y sustancias inorgánicas como metales pesados, gran variabilidad de pH, alto contenido de sólidos totales y disueltos, presencia de nitrógeno, como $N\text{-}NH_3$, alta concentración de cloruros, compuestos orgánicos diversos, etc. Todo esto dependiendo de la naturaleza de los desechos (pH, edad, temperatura, tipo de material de cubierta, etc.) y de la fase de estabilización en que se encuentre (Borzacconi *et al.*, 1996; El-Fadel M., 2002).

Los lixiviados estabilizados muestran las menores propiedades de biodegradabilidad con un Índice de Biodegradabilidad (IB, definido como DBO_5/DQO) debajo de 0.1, (Rivas *et al.*, 2005). Mientras la edad del relleno sanitario aumenta, la fracción orgánica biodegradable en el lixiviado disminuye, resultando la relación DBO_5/DQO muy baja debido a que los ácidos grasos y otras sustancias fácilmente biodegradables han sido convertidos a metano dentro del relleno (Lau *et al.*, 2001). Por ello la mayoría de los compuestos orgánicos de rellenos estabilizados son compuestos refractarios y por lo tanto los procesos biológicos para el tratamiento de sus lixiviados tienen una muy limitada efectividad (Hee-Chan *et al.*, 2001; Lau *et al.*, 2001). La naturaleza refractaria involucra la necesidad de utilizar métodos alternativos a los procesos de biodegradación para reducir las cargas contaminantes de estos efluentes.

Eventualmente los lixiviados pueden ser removidos del relleno sanitario para tratarlos por métodos fisicoquímicos y biológicos y evitar de esta forma la contaminación de acuíferos y de las aguas superficiales. Para analizar e interpretar los resultados de eficiencia de cada proceso de tratamiento de lixiviados, se requiere un conocimiento básico de los mecanismos involucrados en la remoción de fracciones de compuestos orgánicos específicos y metales. Las opciones de tratamiento incluyen: la reutilización de los lixiviados para mantener el contenido de humedad de los rellenos, el tratamiento en el sitio (aerobio, anaerobio o fisicoquímico), la descarga a plantas de tratamiento municipales, o una combinación de éstas.

Varios investigadores han estudiado el tratamiento de lixiviados de relleno sanitario obteniendo resultados promisorios mediante diferentes procesos de tratamiento; estos resultados indican que las eficiencias de remoción de contaminantes obtenidas en un lixiviado dado, están influenciadas por la composición química, la cual a su vez está relacionada con las características y grado de estabilización de las basuras o la edad del relleno sanitario. (Borzacconi L. *et al.*, 1996_b; Enzminger J., 1997).

Determinar el tratamiento más adecuado para un lixiviado de relleno sanitario es algo complicado, ya que se trata de residuos líquidos con alto contenido de sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas. Se han realizado vastas investigaciones en busca de tratamientos adecuados para los lixiviados; sin embargo debido a la heterogeneidad en su composición y a la variabilidad de los volúmenes generados no se pueden extrapolar directamente los resultados obtenidos con tratamientos de un lixiviado a otro. Por lo tanto, cada lixiviado proveniente de un relleno sanitario debe ser evaluado individualmente y sometido a pruebas de tratabilidad para encontrar el sistema de tratamiento adecuado para su manejo.

Uno de los procesos que se aplican al tratamiento de lixiviados son los fisicoquímicos. Existen en la bibliografía numerosas referencias de tratamientos fisicoquímicos de lixiviados que presen-

tan los inconvenientes del costo de reactivos químicos y generación de lodos de difícil disposición (Hee Chan *et al.*, 2001; Rivas *et al*., 2004; Marañón *et al.*, 2008; Kurniawan *et al*., 2006). Además, los lixiviados a los cuales se les aplica este tipo de tratamiento son en general viejos, en los cuales el índice de biodegradabilidad (DBO_5/DQO) es bajo, es decir que los tratamientos biológicos, ya sean aerobios o anaerobios, serían poco eficientes.

Los procesos de coagulación-floculación y flotación tienen como objetivo eliminar las partículas suspendidas de la fase líquida, y a valores bajos de pH remueven las partículas de pequeño tamaño que le infieren color al lixiviado. Los procesos de adsorción y de oxidación intensiva Fenton, pueden remover tanto partículas suspendidas como disueltas.

En el presente trabajo se muestran los resultados de diversas experiencias de procesos fisicoquímicos a los lixiviados del relleno sanitario de la de la ciudad de Mérida. Se probaron los procesos de flotación, coagulación-floculación, adsorción con carbón activado, Fenton y Fenton-adsorción.

Los lixiviados de rellenos sanitarios son sometidos a procesos sucesivos de filtración en los estratos de material de cubierta, razón por la cual poseen bajas concentraciones de sólidos suspendidos, por lo que tratamientos como la flotación y la coagulación - floculación, que consisten en la remoción de partículas suspendidas mediante la adición de sustancias químicas (coagulantes), se esperaría que sean poco eficientes. Por este motivo, no se encuentran en la literatura experiencias exitosas de estos tratamientos.

Con el proceso de adsorción se pueden eliminar sólidos suspendidos y disueltos, por lo que se pueden obtener mejores remociones que con los procesos de coagulación-floculación y flotación en los que sólo se remueven sólidos suspendidos. No obstante resulta un proceso caro debido a la necesidad de regenerar el carbón activado.

El proceso Fenton, es un proceso de oxidación en el que la carga contaminante se trata con una combinación de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso (reactivo Fenton), típicamente a presión atmosférica y temperatura entre 20 ºC y 40 ºC. Las condiciones óptimas del reactivo Fenton se obtienen a valores ácidos de pH y con ellas se pueden alcanzar altas remociones de los contaminantes orgánicos.

El objetivo del grupo de estudio es determinar el tratamiento o tren de tratamiento más eficiente para la remoción de la materia orgánica de los lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Mérida. Para tal efecto, se han desarrollado diferentes proyectos de investigación de diferentes tratamientos fisicoquímicos a lixiviados. Cronológicamente, se desarrollaron de la siguiente manera: coagulación/floculación, flotación, adsorción, Fenton, filtración, optimización de la dosis de Fenton, optimización de la adsorción, Fenton/filtración/adsorción.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización de los lixiviados

Se realizaron 17 muestreos de los lixiviados durante los meses comprendidos entre mayo de 2002 a febrero de 2003 y se determinaron los siguientes parámetros: pH, DQO (total y soluble), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), COT, Nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_3$), Nitrógeno Kjeldhal Total (NKT), Nitrógeno orgánico (N-org), P_{total}, Turbiedad, Dureza total, Alcalinidad, Cl^-, Sulfuros, Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Grasas y aceites, Redox, Sólidos Totales (ST), Sólidos Totales Volátiles (STV), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), Ni, Ag, Fe, Mn, Zn, Na, K, Cd, Pb, Cr y Cu (APHA-AWWA-WPCF, 1998). Las muestras se colectaban de las lagunas

de evaporación del relleno sanitario de Mérida en las que se almacenan los lixiviados de las diferentes celdas del relleno sanitario, por lo que se mezclan lixiviados de diferentes edades.

2.2 Determinación de dosis óptima de coagulantes para el proceso de coagulación-floculación

Se realizaron ensayos de jarras con los que se probaron 4 coagulantes metálicos (Policloruro de aluminio al 1% (PAX-XL-605), Sulfato de aluminio al 1%, Cloruro férrico al 1% y Sulfato férrico al 1% (FERIX-3)) y 2 polielectrolitos de alta densidad (Optifloc C-1288 al 0.4% y Optifloc C-1781 al 0.4%). Para cada combinación de coagulantes, se realizaron ensayos de jarras con dosis de 50 a 300 mg/L (50, 100, 150, 200, 250 y 300 mg/L) para los coagulantes metálicos y de 2 a 12 mg/L (2, 4, 6, 8, 10 y 12 mg/L) para los polielectrolitos. Cada ensayo consistió en la realización de tres procesos consecutivos: coagulación mediante una mezcla rápida producida por la agitación a 300 rpm ($G = 320\ s^{-1}$) durante un minuto; floculación con la agitación a 60 rpm ($G = 66\ s^{-1}$) durante 20 minutos y la sedimentación durante 20 minutos (Méndez *et al*., 2005). Los resultados se analizaron mediante un modelo multifactorial en el que los factores fueron los tipos de coagulantes (metálicos y polielectrolitos) y las dosis de los coagulantes y la variable respuesta la remoción (%) de la DQO.

2.3 Determinación de la distribución de partículas

La determinación de la distribución del tamaño de las partículas suspendidas del lixiviado se realizó utilizando un equipo Coulter modelo LS100Q en el que se midieron 9 muestras de lixiviado. El equipo Coulter utiliza el método de dispersión de luz y tiene un rango de detección de 0.4 a 1000 µm.

2.4 Ensayos de flotación

Se realizaron ensayos de flotación por aire disuelto (FSD) probando 3 presiones diferentes (3, 4 y 5 kg/cm^2), con una dosis de coagulante de 300 mg/L de cloruro férrico y 3 valores de pH ácidos (1, 2 y 3) y 3 valores alcalinos (10, 11 y 12). Estos ensayos se realizaron por triplicado. Cada ensayo consistió en la realización de dos procesos consecutivos: coagulación mediante una mezcla rápida producida por la agitación a 300 rpm ($G = 320\ s^{-1}$) durante un minuto y flotación por aire disuelto (Méndez *et al*., 2008).

2.5 Ensayos de adsorción

Se determinó la isoterma de adsorción que mejor se ajustaba a los lixiviados, probando las de Langmuir, Freundlich y BET. Para este efecto, se realizaron pruebas de acuerdo con la metodología propuesta por Benefield (1982), usando carbón activado granular de la marca comercial MERCK, el cual tiene las siguiente características: tamaño aproximado de grano 1.24 mm, residuos de calcinación ≤ 5%, densidad aparente 40 g/100 ml, densidad real 1.53 g/cm^3.

Se construyeron 2 columnas de adsorción de 69 cm de altura y 2.5 L de capacidad, que se operaron en paralelo con flujo ascendente. El efluente se comenzó a monitorear desde su primera salida y luego cada hora, durante las primeras 5 horas. Debido a la poca variación de la calidad del efluente, se amplió el rango de monitoreo a 4 horas y finalmente llegó a ser de 8 horas. Al efluente se le determinó la DQO soluble, de acuerdo con el método de reflujo cerrado referido en el Standard Methods (APHA-AWWA-WPCF, 1998) con una modificación, se utilizaron tubos con reactivos preparados por la compañía HACH, en lugar de preparar los reactivos como lo dicta la técnica. Se probaron 2 gastos, 3 ml/ min y 6 ml/min a los que les correspondieron 8 y 4 horas de tiempo de retención respectivamente.

2.6 Oxidación Fenton

Se determinaron el tiempo, dosis y pH óptimos del proceso, así como la dosis óptima de coagulante para un proceso coagulación-floculación posterior al de oxidación.

Para obtener el tiempo óptimo de reacción se probaron dosis de peróxido de hidrógeno (H_2O_2 al 30 % w/w, grado reactivo) de 200 y 800 mg/L y de hierro (Fe^{2+}, a partir de $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$ grado analítico de Baker) de 250 y 1000 mg/L, respectivamente. Se utilizaron equipos para pruebas de jarras marca Phillips & Bird. Para este efecto, se ajustó el valor de pH del lixiviado a 3, usando H_2SO_4 concentrado (97% w/w). Se realizaron por duplicado ensayos en los que se mezclaron los reactivos durante 1 minuto a 100 rpm y posteriormente se redujo la velocidad de agitación a 30 rpm. Se tomaron muestras de la mezcla cada 20 minutos durante 2 horas y se determinó la concentración de DQO soluble.

Para estimar el valor óptimo de pH y las dosis óptimas para la oxidación, se probaron 4 dosis del reactivo Fenton: peróxido de oxígeno (200, 400, 600, 800 mg de H_2O_2/L) y hierro (250, 500, 750, 1000 mg Fe^{2+}/L) como oxidante del lixiviado; 3 valores de pH (2, 3 y 4) y 2 repeticiones, haciendo un total de 96 ensayos en pruebas de jarras.

Cada ensayo se realizó de la siguiente manera: Se agitó la mezcla correspondiente (con los reactivos) a 100 rpm durante 1 minuto y posteriormente se redujo a 30 rpm, durante el tiempo que resultó óptimo. A continuación, se tomó una muestra para determinar las concentraciones de DQO y COT solubles.

Para determinar la dosis optima de coagulación-floculación, se realizaron ensayos de pruebas de jarras al lixiviado sometido al proceso de oxidación avanzada con los valores óptimos de pH y reactivo Fenton. Los resultados fueron evaluados con base en la remoción de materia orgánica medida como DQO soluble. Se probaron 3 dosis de coagulante de cloruro férrico (400, 600 y 800 mg de $FeCl_3$/L), evaluados por duplicado.

2.7 Determinación de las mejores relaciones $[Fe^{2+}]/[H_2O_2]$ y $[DQO]/[H_2O_2]$

Para la determinación de las mejores relaciones $[Fe^{2+}]/[H_2O_2]$ y $[DQO]/[H_2O_2]$ se ensayó un análisis de varianza de dos vías (Montgomery 1983) en el que las fuentes de variación fueron cada una de las relaciones estudiadas a los siguientes niveles: $[Fe^{2+}]/[H_2O_2]$ con valores de 0.2, 0.6, 1.0, 1.4 y 1.8 y la relación $[DQO]/[H_2O_2]$ con valores de 1, 5, 9, 13 y 17. Los ensayos se realizaron por triplicado y de manera aleatoria y se midió el color y la DQO total al principio y después de la filtración. En todos los casos de análisis estadísticos, para elegir el ensayo óptimo, se utilizó el programa de STATGRAPHICS, versión 5.1 para Windows, análisis de varianza factorial y el método de Diferencia Mínima Significativa (DMS) de Fisher para contrastar las medias de cada tratamiento.

2.8 Comparación entre sedimentación y filtración de los lodos

Se realizó el proceso Fenton a lixiviado crudo con una dosis de peróxido de hidrógeno (H_2O_2 al 30 % w/w) de 600 mg/L y de fierro (Fe^{2+}) de 1000 mg/L ajustándose el pH a 4 con ácido sulfúrico. Se determinaron los valores de DQO y color del sobrenadante sedimentado para compararlos con los de la filtración de los lodos generados. También se determinó la sedimentabilidad de los lodos después de una hora y los mililitros de filtrado por cada 20 ml de lodo.

La filtración se llevó a cabo usando Filtros GFC marca Whatman No 41 (20 - 25 µm de diámetro de poro). Este pre-experimento se realizó por quintuplicado.

2.9 Fenton/filtración/adsorción

Se realizó el proceso Fenton/filtración/adsorción según el siguiente procedimiento:

- Se adicionó ácido sulfúrico concentrado para disminuir el pH de los lixiviados hasta un valor de 4.

- Una vez ajustado el pH a 4, el proceso Fenton se realizó añadiendo al lixiviado, una dosis de 1500 mg/ l de H_2O_2 y 200 mg/L de Fe_2 y agitando a un gradiente hidráulico de 300 s^{-1} durante 5 minutos y dejando reposar durante 60 minutos.

- El lixiviado tratado mediante el proceso Fenton, se filtró con un filtro prensa marca interfilter modelo 20-18 y se almacenó en un recipiente de 200 L para utilizarlo en el proceso de adsorción.

- Se construyó una columna de acrílico de sección circular de 75 cm de longitud de 20 cm de diámetro, la cual fue empacada hasta una altura de 60 cm con carbón activado granular. Mediante una bomba peristáltica de velocidad ajustable se mantuvo un flujo ascendente constante de 170 ml/min y se tomaron muestras a diferentes tiempos en el influente y en el efluente a las que se les determinaron DQO y color. La prueba concluyó cuando se agotó la capacidad de remoción del carbón.

- Se graficó la curva de avance para cada tipo de carbón y se determinó el volumen de lixiviado tratado por kg de carbón empacado.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización

En la Tabla 1, se presentan los resultados de la caracterización de los lixiviados.

Tabla 1. Caracterización de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Mérida

Parámetro (unidad)	Media	Rango	Parámetro (unidad)	Media	Rango
pH	8.3	7.9 – 8.5	O_2 (mg/L)	0.72	0.15 – 1.30
Turbiedad (NTU)	108	95 - 130	SST (mg/L)	95	42 – 153
Conductividad (mS/cm)	17.9	17.1 – 18.5	SSV (mg/L)	69	38 – 101
Alcalinidad (mg/L)*	4305	548 - 11107	ST(mg/L)	12545	10064 - 16214
Dureza total (mg/L)*	955	720 - 1196	STV (mg/L)	3813	2546 – 5260
Cloruros (mg/L)	3156	2489 - 3654	Redox (mg/L)	19	-133 - 123
DBO_5 (mg/L)	1098	236 - 2580	Fe (mg/L)	64.05	7.92 – 164.4
DQO Total (mg/L)	5346	4268 - 7610	Mn (mg/L)	0.81	0.12 – 1.49
DQO Soluble (mg/L)	4895	3161 – 7490	Zn (mg/L)	3.20	0.43 – 5.80
COT (mg/L)	2857	2283 – 4380	Na (mg/L)	11850	1632 – 28180
Grasas y aceites (mg/L)	29	4 - 62	K (mg/L)	10252	1636 – 23100
SAAM (mg/L)	6.49	0.88 – 13.80	Cd (mg/L)	0.0069	0.001 – 0.158
N-NH_3 (mg/L)	1210	795 - 2303	Pb (mg/L)	0.236	0.016 – 0.900
N-org (mg/L)	208	82 – 320	Cr (mg/L)	6.98	4.74 – 14.35
NKT (mg/L)	1419	1004 – 2515	Cu (mg/L)	0.214	0.056 – 0.388
P Total (mg/L)	37.32	7.04 – 75.12	Ni (mg/L)	0.349	0.319 – 0.387
Sulfuros (mg/L)	405	30 – 705	Ag (mg/L)	0.039	0.037 – 0.039

* Medidos como $CaCO_3$

Debido a la forma de operación del relleno sanitario, en las lagunas de evaporación se mezclan lixiviados de diferentes edades lo que propicia una gran variabilidad de cada uno de los parámetros presentados en la Tabla 1 y también que posean una mezcla de las características de lixiviados producidos durante la fermentación ácida y la fase metanogénica.

El material de cubierta, un tipo de suelo regional denominado sahcab, es de naturaleza caliza y de estructura frágil, por lo que al ser sometido a la compactación durante la etapa de construcción del relleno, se comprime reduciendo su porosidad, produciendo un doble efecto: actúa como filtro reteniendo las partículas de mayor tamaño y reacciona con él propiciando una disolución de sus carbonatos.

Puede observarse que la mayor parte de los sólidos se encuentran en forma disuelta, sólo el 0.76% de los sólidos totales están en suspensión, lo que anticipa bajas remociones en el proceso fisicoquímico coagulación – floculación que se basa en la remoción de material suspendido. Słomczyńska y Słomczyński (2004) reportan mayores porcentajes de sólidos suspendidos respecto de los sólidos totales en lixiviados de seis rellenos sanitarios polacos: 4.73%, 14.54%, 11.20%, 6.96%, 11.15% y 34.14%. Este resultado indica que el material de cubierta del relleno sanitario de la ciudad de Mérida (sahcab) retiene mayor cantidad de sólidos suspendidos, y que por consecuencia, el proceso coagulación – floculación será poco eficiente.

Concordante con el anterior resultado, puede observarse que la mayor parte de la materia orgánica se encuentra en forma disuelta medida como DQO soluble (91.56%), valores similares a los reportados por González *et al*. (2001) en lixiviados de los rellenos sanitarios en Veracruz y el Distrito Federal, México.

El pH es relativamente alto, comparado con otros lixiviados, lo cual se relaciona con la interacción sahcab - lixiviado. Słomczyńska y Słomczyński (2004) reportan valores de pH de entre 5.4 y 7 en seis rellenos polacos y 2 americanos. La elevada alcalinidad puede deberse fundamentalmente al tipo de material de cubierta (sahcab) que le otorga al lixiviado carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio. La concentración relativamente alta de nitrógeno amoniacal sumada a la alcalinidad, le otorgan una gran capacidad buffer (capacidad amortiguadora) al lixiviado. Los elevados valores de sodio y potasio, así como la dureza, también se relacionan con la disolución del material de cubierta usado.

Los metales se encuentran en concentraciones importantes, comparados por las reportadas por Jensen y Christensen (1999), en particular el cromo que los citados autores reportan 0.064 mg/L como promedio de 4 muestras de lixiviado mientras que en el del relleno de la ciudad de Mérida encontramos concentraciones promedio de 6.98 mg/L. La presencia de metales en el lixiviado indica que durante la fase acidogénica, los bajos valores de pH los solubilizan, y al pasar por una capa de material de cubierta, el pH aumenta nuevamente, pero no a valores que los precipiten. Esto explica el hecho de que al mismo tiempo, se tengan elevadas concentraciones de metales pesados y de pH.

3.2 Coagulación-floculación

Los resultados de los 864 ensayos de la prueba de jarras para la remoción de DQO se muestran en la Figura 1. Las eficiencias de remoción de DQO soluble resultaron bajas; de 0 a 47%, con valor medio de 4%. Estos valores bajos de remoción de materia orgánica son debidos a las características particulares del lixiviado tratado (baja concentración de sólidos suspendidos), por lo que ni aún por acción de barrido (con dosis de 300 mg/L) se obtuvieron buenas eficiencias de remoción de DQO.

Tatsi *et al.* (2003) en un trabajo similar, obtuvo remociones de 25 a 38% de DQO total en lixiviados con dosis de sulfato de aluminio de 3000 mg/L. Con relación a los SST, las mejores eficiencias de remoción que se obtuvieron fueron de 80%, pero no encontraron relación con el tipo de coagulante, ni con la dosis aplicada. Obtuvieron altas remociones de color (97%) a valores de pH = 10 y dosis de 2000 mg/L de cloruro férrico

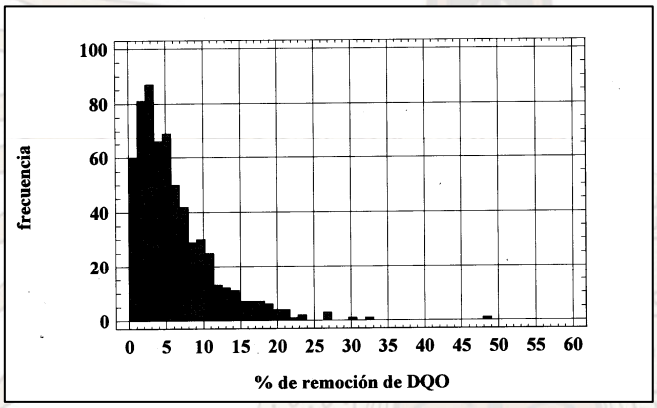


Figura 1. % de remoción de DQO con el proceso coagulación-floculación

En la caracterización de los lixiviados reportados por Tatsi *et al.* (2003), se pone de manifiesto que poseen mayores concentraciones de SST/ST que los encontrados en el relleno sanitario de Mérida: 4% contra 0.57% respectivamente, lo que puede asociarse a las mayores remociones de materia orgánica obtenidas. No obstante la baja remoción de materia orgánica, se analizaron los resultados mediante un análisis de varianza del modelo multifactorial, donde los factores fueron: Tipo de coagulante, Dosis de coagulante, Tipo de polielectrolito y Dosis de polielectrolito y la variable respuesta, la remoción de DQO soluble. Dando como resultado que únicamente la dosis de coagulante es significativa en la remoción de la DQO.

La baja concentración de SST, motivó la realización del estudio sobre la distribución de tamaños de partículas, dado que en función del tamaño de las mismas, se puede inferir el tipo de tratamiento fisicoquímico más adecuado. Si la mayor parte de las partículas son del tipo coloidal mayores de 300 µm, el pH óptimo del proceso coagulación/floculación se esperaría que fuera cercano a la neutralidad, mientras que si la mayoría de las partículas son menores de 100 µm, se esperaría que le infieran color a la suspención y que el pH óptimo para su tratamiento fuera ácido.

El rango de tamaños de partículas contenidas en los lixiviados fue de 0.375 a 948.2 µm, con valor medio de 22.97 µm, pero el mayor número de partículas estuvo en el rango de 0.4 a 75 µm (Figura 2). Puede observarse que el porcentaje de partículas de tamaño < 10 µm es bajo, aproximadamente del 10%, por lo que la remoción de color esperada del proceso fisicoquímico a pH bajo también será bajo.

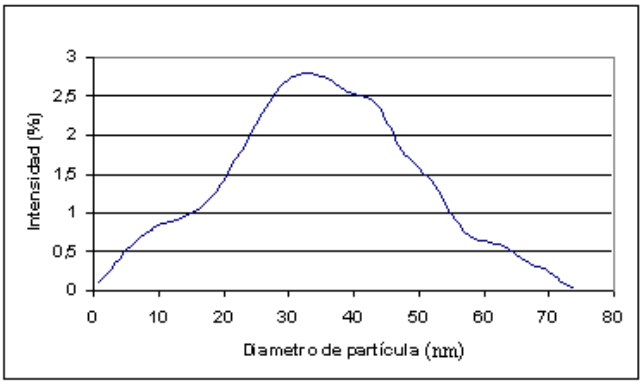


Figura 2. Distribución de los diámetros de las partículas presentes en los lixiviados del relleno sanitario

El tamaño de las partículas coloidales medidas en este trabajo es semejante a lo reportado por Jensen & Christensen (1999), es decir, las mayores concentraciones se encuentran entre 0.001 y 40 µm. Marttinen *et al.* (2002) indican que del 71 al 84% de las partículas se encuentran en el rango de 0.1 a 41 µm, lo cual también concuerda con los valores obtenidos en este trabajo. En ambos artículos, se indica que la determinación del tamaño de las partículas se realizó utilizando un filtrado secuencial de los lixiviados, en contraste con la determinación por medio del equipo Coulter, el cual nos permite obtener la distribución de tamaños con mayor precisión.

Dado que el proceso coagulación/floculación resultó poco eficiente, y que una de las razones de este comportamiento pudiera estar asociado al tamaño y densidad de flóculos formados, se probó el proceso de flotación.

3.3 Flotación

En la Tabla 2, se presentan los porcentajes de remoción para la DQO, SST y ST para pH bajos (1, 2 y 3) y pH altos (10, 11 y 12). Las mejores remociones obtenidas fueron: para la materia orgánica medida como DQO fue de 37% y se obtuvo a pH 2 y presión de 5 kg/cm^2; para los SST, 39% a pH 1 y presión de 3 kg/cm^2 y para los ST, 30% también a pH 1 y presión de 3 kg/cm^2. En general se observan mejores remociones a valores bajos de pH, lo que concuerda con la hipótesis de que se remueven partículas coloidales de pequeño tamaño.

Se realizaron análisis de varianza para determinar la influencia de la presión y el pH (valores altos o bajos) en la remoción de materia orgánica medida como DQO, SST y ST (Tabla 3). Los resultados indican que ambas variables son significativas, excepto el pH para ST avalores de pH bajos (1, 2 y 3).

Después de comprobar que los procesos coagulación/floculación y flotación resultaron poco eficientes, debido a la baja concentración de SST (partículas coloidales o suspendidas), se decidió probar otros procesos fisicoquímicos, que pudieran remover también sólidos disueltos: adsorción y oxidación Fenton.

3.4 Adsorción

Ninguna de las isotermas de adsorción se ajustó a los datos experimentales (los coeficientes de correlación para las isotermas de Langmuir, Freundlich y BET fueron respectivamente 0.39, 0.49 y 0.23), lo que indica que los modelos ensayados no son compatibles con el tipo de adsorción de los lixiviados. Esto se puede explicar porque los modelos utilizados se elaboraron considerando la remoción de una sola sustancia y no una mezcla de sustancias como es el caso de los lixiviados.

Tabla 2. Porcentaje de remoción de DQO, SST y ST en lixiviados

Presión (kg/cm^2)	pH	Remoción DQO_b	Remoción SST_b	Remoción ST_b	pH	Remoción DQO_a	Remoción SST_a	Remoción ST_a
3	1	27	38	30	10	16	10	5
3	2	27	35	30	11	18	8	5
3	3	26	33	29	12	17	7	5
4	1	35	35	27	10	17	9	4
4	2	34	30	27	11	12	7	4
4	3	34	28	27	12	12	7	4
5	1	36	35	28	10	16	7	4
5	2	37	33	28	11	16	6	4
5	3	32	31	27	12	14	5	4
Promedio		32.00	33.3	28.1	--	14.3	7.1	4.2

[a] Valores altos de pH (10, 11 y 12)

[b] Valores bajos de pH (1, 2 y 3)

Tabla 3. Significancia (α) del pH y la presión en la estimación de DQO, SST y ST a valores altos y bajos de pH. Mejores valores de presión y pH

Variables respuesta	α		pH	Presión (kg/cm^2)
	pH	Presión		
DQO_a	0.0228	0.0015	10	3
DQO_b	0.0013	0.0000	1-2	4-5
SST_a	0.0168	0.0099	10	3
SST_b	0.0000	0.0000	1	3
ST_a	0.0430	0.0000	10	3
ST_b	0.1124	0.0000	1	3

$_a$ valores altos de pH (10, 11 y 12)

$_b$ valores bajos de pH (1, 2 y 3)

En las Figuras 3 y 5 se presentan los % de remoción de materia orgánica y en las Figuras 4 y 6 las graficas de las curvas de avances, obtenidas para los dos gastos utilizados. Puede observarse que al inicio del experimento se tienen elevadas remociones de DQO (60 – 70%) pero conforme avanza el proceso, la DQO efluente se va incrementado lentamente, por lo que la eficiencia decae de 50 a 20% en el caso del gasto de 6 ml/min y de 50 a 30% en el caso del gasto de 3 ml/min.

Las curvas de avance (Figuras 3 y 5) empleando diferentes gastos, el doble una de otra, se comportan de manera muy parecida (se obtienen semejantes porcentajes de remoción de DQO), con la diferencia de que en la columna de mayor gasto (Figura 5) se realiza de manera más rápida el proceso. Esto podría deberse a que al tener menor gasto se tiene mayor tiempo de contacto del lixiviado con el carbón, dando lugar a que se establezca un más rápido equilibrio y se realice la adsorción de sustancias que en caso contrario no podrían haber sido retenidas. Este comportamiento se observa al comienzo del proceso (Figura 5), en el que el incremento de la fracción remanente de DQO durante las primeras 100 horas es pronunciado, mientras que en la Figura 3 se observa que el crecimiento de la fracción remanente se presenta en las primeras 80 horas. En el primer caso el incremento va del 45% al 80%, mientras que en segundo caso el incremento va del 35% al 65%. En ambos casos, después de este incremento pronunciado de la fracción remanente, el incremento se suaviza durante un período largo de tiempo.

Morawe *et al.* (1995), trabajando con lixiviados tratados con un proceso biológico, obtuvieron curvas de avance semejantes en columnas de carbón activado con 4 horas de tiempo de retención, en las que inicialmente obtuvieron buenas remociones de DQO y posteriormente las remociones decayeron. Se puede observar que la zona de adsorción es toda la columna, lo que indica que el tiempo de contacto (4 ó 8 horas) es inferior al tiempo óptimo para lixiviados. En pruebas adicionales, se verificó que a mayor tiempo de contacto (lixiviado – carbón activado) se tenían mayores remociones de DQO, hasta alcanzar tiempos de contacto de 24 horas. Es decir, que a tiempos mayores de 24, no se obtenían mejores eficiencias de remoción.

Al comienzo del proceso se empieza a disminuir la eficiencia del sistema de manera progresiva;

los solutos tienen disponible cierta área para poder ser adsorbidos y conforme éstos se acomodan a lo largo de la columna van colmatando los poros y dan lugar a que se presente otro tipo de adsorción.

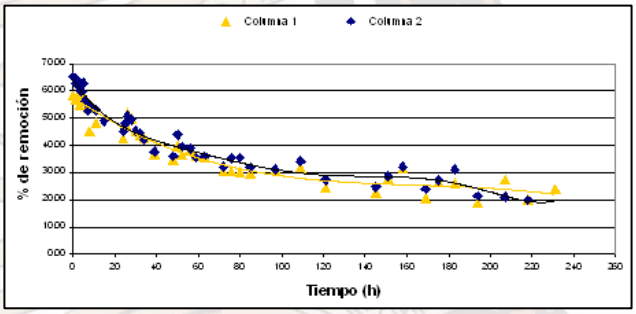


Figura 3. Curva de eficiencia de remoción de matéria orgánica medida como DQO (TRH = 8 h; gasto 3 ml/min: r = 0.97)

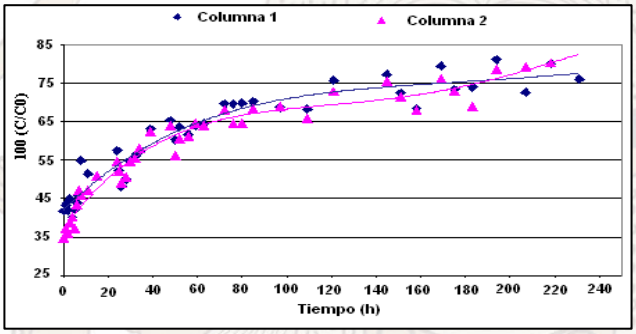


Figura 4. Curva de avance del proceso de adsorción (TRH = 8 h; gasto de 3 ml/min; r = 0.97)

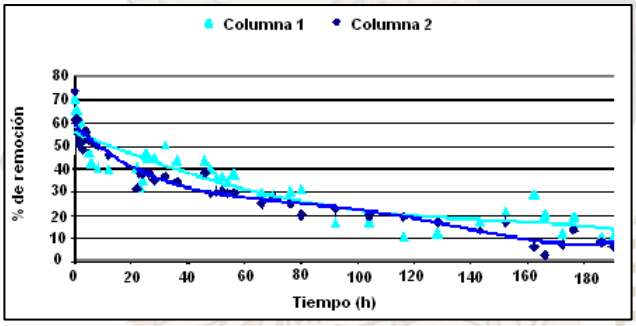


Figura 5. Curva de eficiencia de remoción de matéria orgánica medida como DQO (TRH = 4 h; gasto 6 ml/min; r = 0.90)

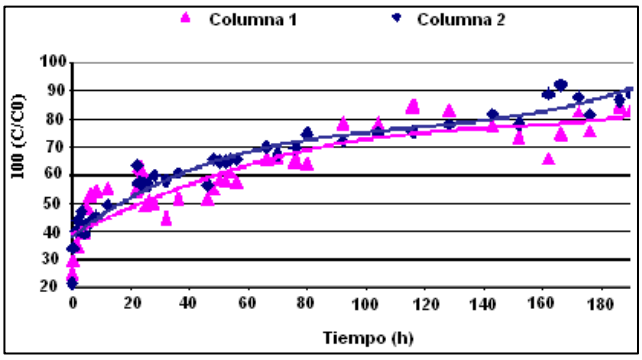


Figura 6. Curva de avance del proceso de adsorción (TRH = 4 h; gasto 6 ml/min; r = 0.90)

Las eficiencias de remoción de DQO se redujeron del 60 al 30% durante las primeras 80 horas cuando el tiempo de retención fue de 8 horas (Figura 3) y durante las primeras 60 horas cuando el tiempo de retención fue de 4 horas (Figura 5). Si se toma en cuenta que la DQO influente era de 6089 mg/L los efluentes del proceso de adsorción son todavía muy contaminantes, por lo que se requeriría de otro tratamiento (ya sea previo o posterior) para poder disponer de ellos.

3.5 Oxidación Fenton

En la Figura 7 se graficaron las eficiencias de remoción de DQO en función del tiempo de contacto. A los 20 minutos se obtiene el mejor tiempo (de entre los probados), no obstante, es recomendable determinar con mayor precisión este parámetro que influye en forma determinante en el costo del tratamiento.

A resultados semejantes llegaron Hee-Chan Yoo *et al.* (2001) trabajando el proceso Fenton en lixiviados obteniendo las eficiencias de remoción que se hacen asintóticas a partir de 20 minutos, sin embrago, otros investigadores han obtenido tiempos de reacción óptimos diferentes como se presentan en la Tabla 5.

En la Tabla 4 se presentan los resultados del % de remoción de la DQO soluble, con éstos se realizó un análisis de varianza y se determinó que el pH

y los tratamientos ensayados fueron significativos para la eficiencia de remoción (Figuras 8 y 9). La máxima remoción de DQO alcanzada fue de 72% a valores de pH de 4 y con el tratamiento 12 que corresponde a un reactivo Fenton con 600 mg/L de H_2O_2 y 1000 mg/L de Fe^{2+}.

Con el proceso de coagulación-floculación posterior al Fenton, se pretende eliminar los microfóculos formados. En la Figura 10, se muestra que no existe diferencia significativa de la remoción de DQO entre las dosis probadas, y que las mayores remociones obtenidas fueron del 80%. Rivas *et al.* (2004) reportaron un incremento del 80% al 90% en la remoción de la DQO en lixiviados con el proceso coagulación-floculación posterior al Fenton, usando 558 mg Fe^{3+}/L como coagulante.

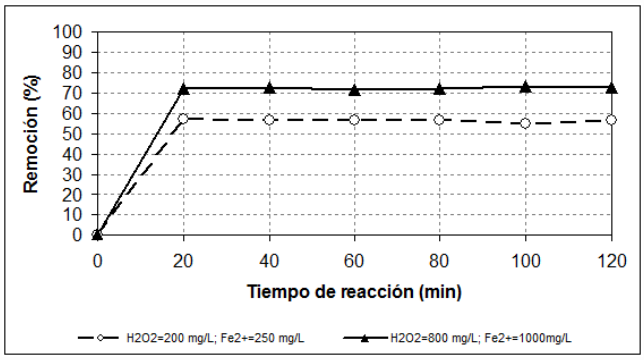


Figura 7. Eficiencias de remoción promedio (con base en la DQO soluble) para determinar el tiempo de reacción óptimo

Tabla 4. Remoción de DQO soluble de lixiviados con los tratamientos por oxidación Fenton

Tratamiento	Reactivo Fenton (mg/L)		pH = 2		pH = 3		pH = 4	
	H_2O_2	Fe^{2+}	Replica 1	Réplica 2	Replica 1	Réplica 2	Replica 1	Réplica 2
1	200	250	39	48	51	48	53	49
2		500	45	48	52	51	64	59
3		750	36	47	55	50	59	54
4		1000	46	49	57	51	65	58
5	400	250	44	47	52	54	57	50
6		500	47	57	60	62	69	65
7		750	47	55	58	56	67	68
8		1000	55	55	59	58	73	64
9	600	250	41	50	56	57	52	55
10		500	49	50	69	63	68	66
11		750	46	50	68	67	69	70
12		1000	63	57	69	70	72	72
13	800	250	40	27	51	55	50	53
14		500	45	40	62	63	60	66
15		750	47	33	60	65	68	74
16		1000	52	44	66	70	70	73

Tabla 5. Comparación de resultados con trabajos de oxidación Fenton

Parámetro	*Unidad*	*Mérida a*	*Italia b*		*Delaware, USA c*		*Hong kong d*		*España 1 e*	*Estambul f*	*España 2 g*
pH	Unidades de pH	8.57	8.2		6.67		8.5		-	7.3	7.1
Conductividad	ms/cm	21.83	45.35		-		-		-	-	47.1
Alcalinidad	mg/L	6115.96	21470		4050		-		-	9850	-
DBO_5	mg/L	647	2300		-		75		475	12200	7100
DQO	mg/L	9080	10540		8596		1500		8100	20700	6500
COT	mg/L	2266	3900		2124		470		-	-	-
DBO_5/DQO	---	0.071	0.218		-		0.050		0.059	0.589	0.54
Valores óptimos											
Tiempo de reacción	minutos	20	120	120	30		40 [7]			5	60
pH	Unidades de pH	4	3	3	2.5		6		3.5	3.5 - 4.0	3
H_2O_2	mg/L	600	3300	10000	2550		200		34000	2000	6500
Fe^{2+}	mg/L	1000	275	830	2792		300		558	1000	650
Eficiencia alcanzada											
DQO	%	77		60	61	49	38	70	80	85	75
COT	%	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DBO_5	%	44	-	-	-	-	-	-	-	-	98
DBO_5/DQO	-	0.100	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-

[a] Presente estudio, 2006.

[b] López *et al.*, 2003.

[c] Hui Zhang *et al.*, 2005.

[d] Lau *et al.*, 2001.

[e] Rivas *et al.*, 2004.

[f] Baris *et al.*, 2005.

[g] Trujillo *et al.*, 2006.

9, 10 y 11 Junio 2010
RESIDUOS SÓLIDOS

En la Tabla 5, se presenta un concentrado de resultados del proceso Fenton a lixiviados. Se compran las remociones con base en la DQO, COT, DBO_5 y la variación del índice de biodegradabilidad (DBO_5/DQO).

Existe un amplia variación de los tiempos de contacto, valores óptimos de pH y dosis de reactivos Fenton. Los tiempos de contacto varían de 5 a 120 minutos; el pH va de 2.5 a 6 y las dosis de reactivo Fenton de 200 mg/L a 34000 mg/L de H_2O_2 y de 275 a 2792 mg/L de Fe^{2+}. La relación entre el agente reactivo y el catalizador $[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$ del reactivo Fenton, varía de 0.67 a 60.93.

No obstante que el Fe^{2+} actúa sólo como catalizador, la relación $[H_2O_2]/[DQO]$ varía de 0.07 (correspondiente al lixiviado de la ciudad de Mérida) a 4.20 (Rivas *et al*., 2004). Estas variabilidades del proceso Fenton indican que se requiere de más investigación para determinar las concentraciones óptimas del reactivo Fenton en lixiviados.

3.6 Determinación de las mejores relaciones $[Fe^{2+}]/[H_2O_2]$ y $[DQO]/[H_2O_2]$

En las Tablas 6 y 7, se presentan los resultados de los tratamientos correspondientes a las combinaciones de las relaciones $[Fe^{2+}]/[H_2O_2]$ y $[DQO]/[H_2O_2]$ con valores de 0.2, 0.6, 1.0, 1.4 y 1.8 y 1, 5, 9, 13 y 17 respectivamente, para la eficiencia de remoción de color y DQO.

Tabla 6. Resultados con base en el porcentaje de remoción de Color

Fe/H_2O_2	DQO/H_2O_2				
	1	5	9	13	17
0.2	90.78	90.78	90.78	90.78	90.78
	87.60	87.60	87.60	87.60	87.60
	86.02	86.02	86.02	86.02	86.02
0.6	53.85	53.85	53.85	53.85	53.85
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.83	7.83	7.83	7.83	7.83

Tabla 7. Resultados con base en el porcentaje de remoción de DQO

Fe/H_2O_2	DQO/H_2O_2				
	1	5	9	13	17
0.2	80.80	59.25	49.82	37.19	21.08
	77.89	60.48	48.25	31.30	35.83
	78.77	56.50	54.01	46.60	36.83
0.6	77.20	77.75	73.93	56.02	67.10
	77.13	79.45	76.01	68.42	62.26
	74.94	77.19	75.72	68.15	61.14
1	72.26	78.25	78.02	76.04	63.23
	68.64	77.44	75.85	76.31	73.77
	72.29	76.00	78.49	75.19	69.48
1.4	68.03	77.23	78.17	78.13	70.45
	70.82	76.13	76.15	76.62	74.16
	68.46	77.52	79.39	75.92	73.98
1.8	65.18	76.56	78.41	73.69	73.52
	67.64	76.32	77.08	77.00	70.77
	68.89	75.71	77.40	74.71	71.32

Tabla 8. Resultados del Análisis de la Varianza para Eficiencia de DQO (ANOVA)

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Fe^{+2} / H_2O_2	5814.7	4	1453.68	22.01	0
DQO / H_2O_2	1541.42	4	385.354	5.83	0.0004
Residuos	4359.65	66	66.0553		
Total	11715.8	74			

Tabla 9. Resultados del Análisis de la Varianza para Eficiencia del color (ANOVA)

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Fe^{+2} / H_2O_2	12121.1	4	3030.28	3.9	0.0066
DQO / H_2O_2	41282.8	4	10320.7	13.29	0
Residuos	51270.5	66	776.826		
Total	104674	74			

En el caso del color se pueden observar, en algunos ensayos, eficiencias de remoción de 0%, esto se debe a que estas relaciones resultaban en la adición de grandes contenidos de Sulfato Ferroso, dando como resultado una coloración de rojo muy intenso, que para algunos tratamientos llegaron incluso a un Color Final de 54,000 U Pt/Co.

En las Tablas 8 y 9, se presentan los resultados del ANOVA, en donde tanto para color como para DQO se puede ver que dado que el P-Valor es menor a 0.05 ambas relaciones son significativas.

En las Figuras 8 y 9 se presentan la remoción promedio de DQO y Color de lixiviados en función de la relación [DQO]/[H_2O_2], con intervalos de confianza (DMS) construidos al 95%.

De la Figura 8 puede apreciarse que respecto a la DQO, las relaciones 1, 5 y 9 son las que presentaron eficiencias similares y se consideran estadísticamente iguales con un 95% de confianza, en cambio, respecto al color (Figura 9), las relaciones 9, 13 y 17 son las que tienen la mejor eficiencia. Por tanto la relación de 9 es la única que optimiza ambos parámetros.

En las Figuras 10 y 11 se presentan la remoción promedio de DQO y Color de lixiviados en función de la relación [Fe^{2+}]/[H_2O_2] con intervalos de confianza (DMS) construidos al 95%.

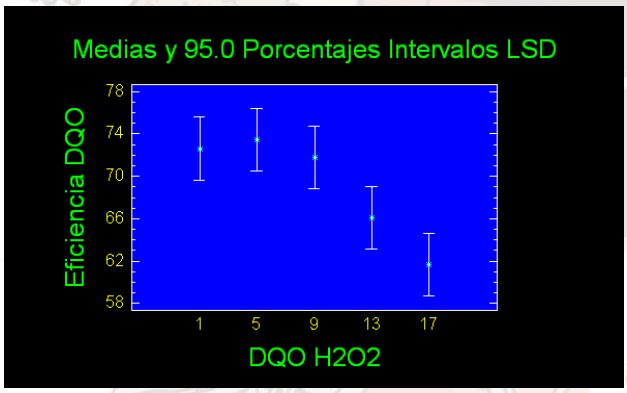


Figura 8. Remoción promedio de DQO en función de la relación [DQO]/[H_2O_2]

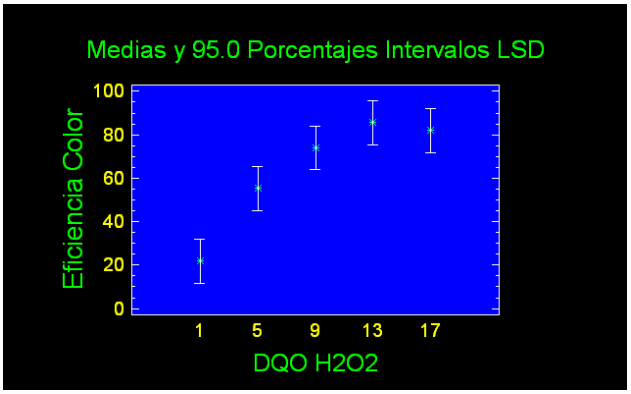


Figura 9. Remoción promedio de Color en función de la relación [DQO]/[H_2O_2]

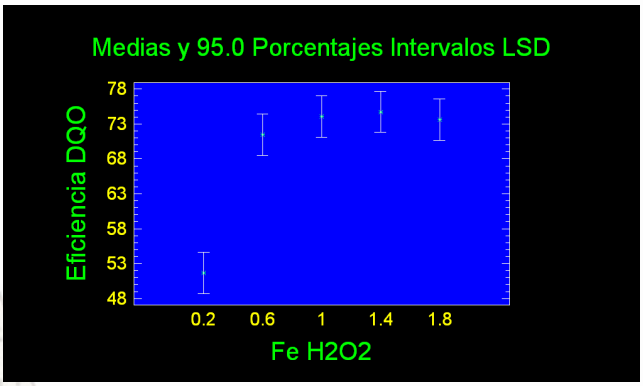


Figura 10. Remoción promedio de DQO en función de la relación [Fe^{2+}]/[H_2O_2]

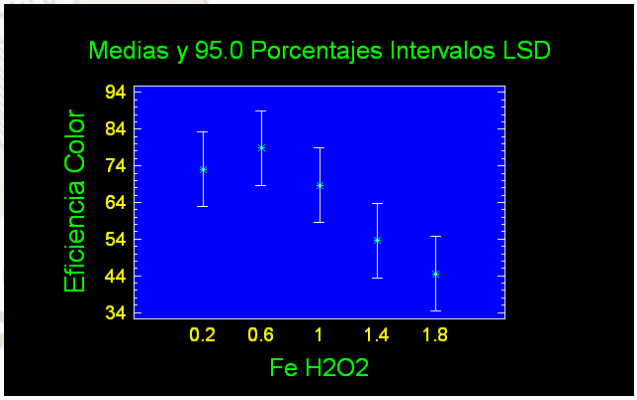


Figura 11. Remoción promedio de Color en función de la relación [Fe^{2+}]/[H_2O_2]

De la Figura 10 puede apreciarse que respecto a la DQO las relaciones 0.6, 1, 1.4 y 1.8 son las que presentan eficiencias similares y se consideran estadísticamente iguales con un 95% de confianza, en cambio respecto al color (Figura 11) las

relaciones 0.2, 0.6 y 1 son las que tienen la mejor eficiencia.

Por tanto se puede ver que las relaciones de 1 y 0.6 optimizan ambos parámetros y aunque no hay diferencia significativa entre ellas, la relación de 0.6 es preferida ya que esta requiere menor cantidad de reactivos.

3.7 Comparación entre sedimentación y filtración de los lodos

Una característica del proceso Fenton a los lixiviados de la ciudad de Mérida, es la de que produce un lodo poco denso, por lo tanto, difícil de remover por decantación. Por este motivo se decidió evaluar el proceso de filtración para la remoción de los lodos formados.

En la Tabla 10, se presentan los resultados de la comparación de ambos procesos.

El promedio de la DQO del sobrenadante después del Fenton y de 1 hora de sedimentación fue de 2298 mg/L con una desviación estándar de 63, siendo éste ligeramente mayor que con la filtración de los lodos, en donde se presenta un promedio de 1938 mg/L con una desviación estándar de 164.56.

De forma similar, con el color también la filtración produce una mayor reducción, con 1392 U Pt/Co con una desviación estándar de 147.2, en cambio, con la sedimentación, se logró tan solo un promedio de 1706 U Pt/Co con una desviación estándar de 196.1.

Tabla 10. Resultados de la comparación de Filtración y Sedimentación

Muestra		Parámetros			
		DQO (mg/L)	Color (U Pt-Co)	Sedimentabilidad (ml/L) (1 hr)	ml de Filtrado/20 ml
Lixiviado crudo		8510	10600	N/A	N/A
Lixiviado decantado	1	2390	1780	920	N/A
	2	2250	1920	920	N/A
	3	2320	1680	930	N/A
	4	2300	1470	900	N/A
	5	2230	1680	910	N/A
	Promedio	2298	1706	916	N/A
Lixiviado Filtrado	1	1950	1120	N/A	17.0
	2	2090	970	N/A	17.0
	3	2050	900	N/A	17.3
	4	1880	1220	N/A	16.9
	5	1720	1390	N/A	17.0
	Promedio	1938	1392	N/A	17.0

De cada 20 ml. de lodo filtrado se logró filtrar en promedio 17 ml, lo cual significa que solo el 15 % del volumen fue lodo. Dado que se obtuvieron menores valores para DQO y color mediante la filtración que con la sedimentación se probó que un proceso de filtración es más adecuado para separar los lodos.

3.8 Fenton/filtración/adsorción

Los resultados del tren de tratamiento Fenton/filtración/Adsorción se muestran en la Tabla 11. De ella, se puede deducir que se obtienen remociones de materia orgánica medidas como DQO de 90.77% con los procesos Fenton/filtración y de 99.93% con el tren de tratamiento completo. Respecto del color, se obtienen remociones del 95.72% hasta la etapa de Fenton/filtración y de 99.98% con la Fenton/filtración/adsorción.

Las eficiencias de remoción de los ST son de 18.76% hasta Fenton/filtración y de 89.10% para el tratamiento completo, mientras que para los SST los remociones son de 64.32% hasta Fenton/filtración y de 83.46% para el tratamiento completo.

Los valores de SST y DBO_5 de los lixiviados tratados son menores a los establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para cualquier tipo de cuerpo receptor; asimismo, los valores de DQO y de color obtenidos son menores que los establecidos en la Ley Federal de Derechos (Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales, 2009), no obstante, se deben realizar análisis más detallados de las sustancias remanentes en los lixiviados tratados para poder asegurar que son inocuos al medio ambiente.

El Índice de Biodegradabilidad se incrementa de 0.033 a 0.727 del lixiviado crudo al lixiviado tratado, pero las cargas orgánicas remanentes son tan bajas, que no amerita someter los lixiviados a tratamientos biológicos posteriores.

Tabla 11. Resultados del tren de tratamiento Fenton/filtración/adsorción

Parámetros	Lixiviado crudo	Lixiviado después del Fenton	Lixiviados después de la filtración	Lixiviados después de la adsorción
Imagen				
Color (U Pt-Co)	26,160	---	1,120	5
DQO (mg/L)	17,450	---	1,610	11
DBO_5 (mg/L)	580	---	335	8
IB	0.033	0.190	0.208	0.727
pH	9.0	---	2.7	8.7
ST (mg/L)	42,408	43,820	34,452	4,624
SST (mg/L)	925	11,380	330	153

Los resultados del proceso de adsorción se presentan en las Figuras 12 y 13, así como en Tabla 12.

Con base en: las curvas de avance para cada carbón, el flujo de lixiviados y la remoción de la DQO, se calcularon los (kg DQO_{rem}/kg de carbón) y los (litros de lixiviado/kg de carbón), parámetros que permitirán determinar la cantidad

de carbón necesaria para el tratamiento de cualquier volumen de lixiviado. Si bien, se puede lavar y/o regenerar el carbón activado granular, los volúmenes de agua residual que se producirían serían mayores que el volumen de lixiviado tratado y con cargas contaminantes semejantes, por lo que no se aconseja esta práctica. De tal forma que se tendría que considerar al carbón activado saturado como un desecho a disponer en el propio relleno sanitario.

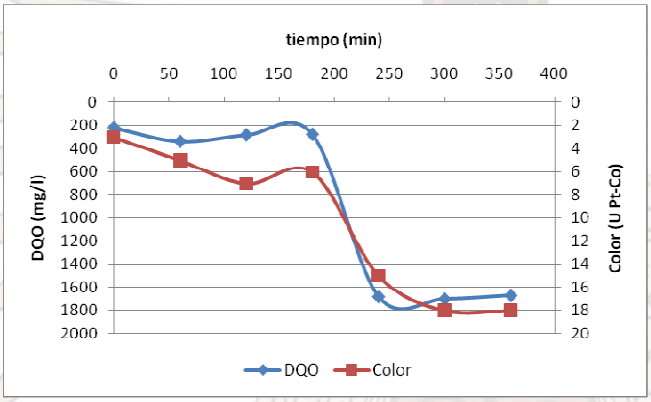


Figura 12. Curva de avance para carbón activado tipo microporoso

En la curva de avance del carbón microporoso (Figura 12), puede observarse que la DQO y color tienen comportamientos semejantes, mientras que la curva del carbón macroporoso primero decae rápidamente la DQO mientras que el lixiviado permanece prácticamente sin color; posteriormente la DQO decae lentamente junto con el color hasta agotar la capacidad del carbón. Si bien, no se sabe qué sustancias se remueven en cada etapa de las curvas de filtración, resulta evidente que con el carbón macroporoso (Figura 13) se remueven mayores cantidades de materia orgánica.

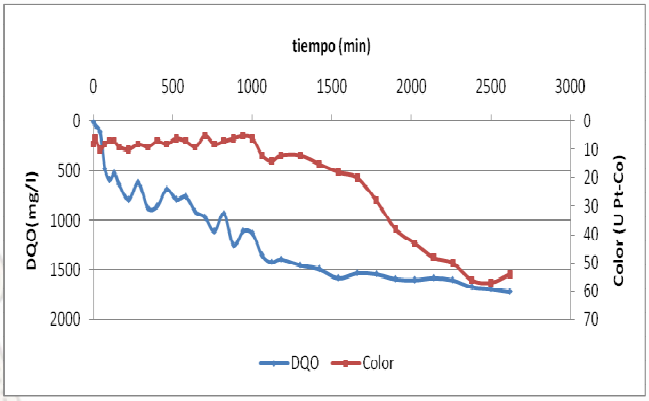


Figura 13. Curva de avance para carbón activado tipo macroporoso

Tabla 12. Resultados de las pruebas de adsorción con los dos carbones experimentados

Tipo de carbón	Microporoso	Macroporoso
DQO influente (mg/L)	1,705	1,624
*DQO efluente (mg/L)	220	11
*% de remoción de DQO	87.10	99.32
Color influente (U Pt-Co)	1,100	1,000
*Color efluente (U Pt-Co)	9	4
*% de remoción de color	99.18	99.60
kg DQO_{rem} / kg de carbón	3.09	19.26
Litros de lixiviado / kg de carbón	2.43	24.43

*Al inicio de la prueba

Para continuar con el desarrollo de la tecnología para el tratamiento de lixiviados, actualmente se trabaja en el uso de nuevos materiales adsorbentes, como la cáscara de huevo y de camarón, para tratar de utilizar un material de desecho en lugar de de carbón activado comercial.

Asimismo, se replica el proceso Fenton/filtración/adsorción con lixiviados de otros rellenos sanitarios para validar los resultados. También se realizarán especiaciones de las sustancias que contienen los lixiviados en cada etapa del tren de tratamiento, para una tener una mejor comprensión del proceso que se realiza.

IV. CONCLUSIONES

- El material de cubierta utilizado en el relleno sanitario filtra los lixiviados y reacciona con él, propiciando que éstos posean bajas concentraciones de sólidos suspendidos (0.76%), elevados valores de pH y alcalinidad y de que casi toda la materia orgánica medida como DQO se encuentre en forma soluble (96%).

- La mayor parte de las partículas del lixiviado se encuentran en el rango de 0 a 75 µm con una media de 23 µm, parte de las cuales, las sustancias húmicas que le infieren color, pueden ser removidas con el proceso coagulación – floculación a pH bajo.

- La mayor parte de los sólidos de los lixiviados se encuentran en forma soluble o coloidal de pequeño tamaño (< 50 µm) lo que propicia que las eficiencias de procesos de clarificación del tipo coagulación-floculación y flotación sean bajas.

- Las condiciones y dosis óptimas del proceso de oxidación fueron: tiempo de contacto de 20 minutos, un valor de pH igual a 4, concentraciones de H_2O_2 de 600 mg/L y Fe^{2+} de 1000 mg/L.

- En la prueba de adsorción, las eficiencias de remoción de DQO se redujeron del 60% al 30% durante las primeras 80 horas con un tiempo de retención de 8 horas y durante las primeras 60 horas cuando el tiempo de retención fue de 4 horas.

- No se obtuvieron buenas eficiencias de remoción de materia orgánica, medida como DQO_s, por el proceso fisicoquímico coagulación – floculación con ninguno de los coagulantes metálicos y polielectrolitos probados (4% en promedio). Por lo tanto no se obtuvo una dosis óptima, ni por acción de barrido.

- La remoción máxima en porcentaje de materia orgánica en lixiviados de relleno sanitario, obtenidos en las pruebas de flotación fueron 37% de DQO, 39% de SST y 30% de ST.

- La dosis óptima del reactivo Fenton para el tratamiento de lixiviados en un proceso Fenton-adsorción se obtuvo con las relaciones $[Fe^{2+}]/[H_2O_2] = 0.6$ y $[DQO]/[H_2O_2] = 9$.

- Los tiempos de contacto óptimos fueron 5 min para remoción de DQO y 1 hora para remoción de color, estableciendo el tiempo óptimo del proceso Fenton-adsorción de una hora para proteger lo más posible al carbón activado.

- El proceso de filtración resultó más eficiente que el de sedimentación para la remoción de los lodos generados en el proceso Fenton, en términos de eficiencia de remoción de DQO y color.

- El carbón activado granular más eficiente en el tren de tratamiento Fenton/filtración/adsorción fue el de tipo macroporoso con el que se alcanzaron remociones de 19.26 kg DQO/kg de carbón y se pueden tratar 24.43 litros de lixiviado / kg de carbón.

- Las eficiencias de remoción con el carbón tipo macroporoso fueron de 99.93% para la DQO y de 99.98% para color, que corresponden a valores de 11 mg/L para la DQO y 5 (U Pt-Co) para el color.

- El Índice de biodegradabilidad se incrementó de 0.033 en el lixiviado crudo a 0.727 en el lixiviado tratado.

- Los valores de SST y DBO_5 de los lixiviados tratados son menores a los establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para cualquier tipo de cuerpo receptor; asimismo, los valores de DQO y de color obtenidos son menores que los establecidos en la Ley Federal de Derechos (Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales, 2009).

V. RECONOCIMIENTOS

CONACYT Ciencias Básicas 2001, proyecto "Tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario"

CONACYT Ciencias Básicas 2009, proyecto "Tratamiento de lixiviados por Fenton-adsorción"

Redes de Cuerpos Académicos del PROMEP 2009, proyecto "Tratamiento de lixiviados por Fenton-adsorción"

VI. REFERENCIAS

APHA-AWWA-WPCF, 1998, Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, USA.

Baris C., Bulent M. and Bulent I., 2005, Ladfill leachate management in Istambul: applications and alternatives. Chemosphere 59, 819-829.

Borzacconi L., López I. y Arcia E., Cardelino L., Castagna A. y Viñas M., 1996b, Comparación de tratamientos aerobios y anaerobios aplicados a lixiviado de relleno sanitario. XXV Congreso Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Tomo I. México D.F.

Benefield L. D., Judkins J. F. and Weand B. L., 1982, Process chemistry for water and wastewater treatment. Editorial Prentice-Hall, USA. 510 p.

Borzacconi L., López I. y Anido C., 1996, "Metodología para la estimación de la producción y concentración de lixiviado de un relleno sanitario", XXV Congreso Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Tomo III. D. F. México.

Comisión Nacional del Agua, 2009, Ley Federal de Derechos (Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales).

El-Fadel M., Bou-Zeid E., Chahine W. and Alayli B., 2002, Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. Waste Management, Vol. 22 No. 3. 269-282.

Enzminger J.D., Robertson R.C., Ahlert R.C. and Kosson D.S., 1997, Treatment of landfill leachates. Journal of Hazardous Materials 14, 83-101.

González G., Hernández M. y Tejeda M., (2001) Diseño de reactores biológicos para evaluar la influencia de lixiviados en la transformación de la materia orgánica contenida en residuos sólidos. Memorias del Congreso de AMCRESPAC. Querétaro, Qro. México.

Hee-Chan Y., Soon-Haing Ch. and Seok-Oh K., 2001, Modification of coagulation and Fenton oxidation processes for cost-effective leachate treatment. Journal of Environmental Science and Health Vol. 36 No. 1, 39-48.

Hui Z., Heung J. Ch. and Chin-Pao H., 2005, Optimization of Fenton Process for the treatment of landfill leachate. Journal of Hazardous Materials B125, 166-174.

Jensen D. and Christensen T., 1999, Colloidal and dissolved metals in leachates from four Danish landfills. Water Research Vol. 33, No. 9, 2139-2147.

Kurniawan T.A., Wai-hung L. and Chan G.Y.S., 2006, Physico-chemical for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. Journal of Hazardous Materials B129, 80-100.

Lau I., Wang P. and Fang H., 2001, Organic renoval of anaerobically treated leachate by Fenton coagulation. Journal of Environmental Engineering 666-669.

Lopez A., Pagano M., Volpe A. and Di Pinto A., 2003, "Fenton's pre-treatment of mature landfill leachate", Chemosphere 54, 1005-1010.

Marañón E., Castrillón L., Fernández-Nava Y., Fernanéz-Méndez A. and Fernández-Sánchez A., 2008, Coagulation-floculation as a pretreatment process at a landfill leachate nitrification-denitrification plant. Journal of Hazardous Materials. 156, 538-544.

Marttinen S., Kettunen R. and Rintala J., 2002, Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates. The Science of the Total Environment, 301, 1-12.

Méndez N.R., Novelo L.A., Coronado P.V., Castillo B.E. y Sauri R.M.R., 2008, Remoción de materia orgánica y metales pesados de lixiviados por flotación con aire disuelto. Ingeniería Vol. 12, No. 1, 13-19.

Morawe B., Ramteke D. and Vogelpohl A., 1995, Activated carbon column performance studies of biologically treated landfill leachate. Chemical Engineering and Processing 34, 299-303.

Norma Oficial Mexicana (NOM-01-ECOL-1996), Que establece los limites maximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales.

Rivas F.J., Beltrán F., Carvalho F., Acedo B. and Gimeno O., 2004, Stabilizaed leachates: sequential coagulation-floculation + chemical oxidation process. Journal of Hazardous Materials B16, 95-102.

Rivas F.J., Beltrán F., Carvalho F., Gimeno O. and Frades J., 2005, Study of different integrated physical-chemical+adsorption processes for landfill leachate remediation. Industrial Engineering Chemical Research 44, 2871-2878.

Slomczyńska B. and Slomczyński T., 2004, Physico-Chemical and toxicological characteristics of leachates from MSW landfills. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 13, No. 6, 627-637.

Tatsi A., Zouboulis A., Matis K. and Samaras P., 2003, Coagulation-floculation pretreatment of sanitary landfill leachates. Chemosphere. Vol. 53, No.7, 737-744.

Trujillo D., Font X. and Sánchez A., 2006, Use of Fenton reaction for the treatment of leachate from composting of different wastes. Journal of Hazrdous Materials B138, 201-204.

Metodología para la localización de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica. Un caso regional colombiano

Franklin Mendoza Castañeda, Paula Montoya Varela y Carlos Alfonso Zafra Mejía
Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental-GIIAUD, Ingeniería Ambiental, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Avda. Circunvalar Venado de Oro, Bogotá D.C., Colombia
E-mail: czafra@udistrital.edu.co

Resumen

El crecimiento económico y el acelerado desarrollo de las regiones han generado elevadas tasas de producción de residuos sólidos. Residuos, que en numerosas localidades son dispuestos en lugares sin ningún tipo de medida técnica y ambiental. Esta tendencia ha evidenciado la necesidad de desarrollar una metodología que permita la selección y evaluación de los sitios potenciales para el emplazamiento de una instalación de disposición final. En este artículo se presenta un desarrollo metodológico para la localización de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica, considerando experiencias internacionales aplicadas a un caso colombiano (Tame, Colombia). Dentro de las experiencias internacionales se incluyeron el método de las unidades geomorfológicas (UGMF) y una revisión bibliográfica de las metodologías que utilizan la técnica de decisión multicriterio (MCDA). Se evaluaron tres escenarios de comparación con respecto a la legislación colombiana: método UGMF, revisión bibliográfica (MCDA), y la metodología propuesta. Los resultados mostraron que existen diferencias significativas en la estimación de la disponibilidad de área entre el desarrollo metodológico propuesto y, las metodologías de referencia y la legislación colombiana. Con respecto al 95% de la ponderación máxima, la metodología propuesta fue un 81% más restrictiva que la legislación colombiana en la estimación de la disponibilidad de área. Igualmente, las metodologías UGMF y la revisión bibliográfica (MCDA) fueron un 73% y 97% más restrictivas, respectivamente.

Palabras Clave – Relleno sanitario, residuos sólidos, localización, metodología, sistemas de información geográfica.

Abstract

The accelerated economic growth and regional development have generated high rates of production of solid waste. Waste that in many localities are arranged in places without any technical and environmental measure. This trend has shown the need to develop a methodology to the selection and evaluation of potential sites for the location of a final disposition installation. This article presents a methodological development for the location of landfills through geographic information systems, considering international experience applied to a Colombian case (Tame, Arauca). Within international experiences included the geomorphological unit method (UGMF) and a literature review of the methodologies used for multicriteria decision (MCDA). It was evaluated three scenarios compared to Colombian legislation: UGMF method, literature review (MCDA) and the proposed methodology. The results showed that there are significant differences in the estimation of the availability of area between the proposed methodological development and, the reference methodologies and Colombian legislation. With respect to 95% of the maximum weighting, the proposed methodology was 81% more restrictive than the Colombian legislation in estimating the availability of area. Similarly, methodologies UGMF and literature review (MCDA) were 73% and 97% more restrictive, respectively.

Keywords – Landfill, solid waste, location, methodology, geographic information system.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico y el acelerado desarrollo de las regiones han generado elevadas tasas de producción de residuos sólidos. Residuos, que en numerosas localidades han sido dispuestos en lugares sin ningún tipo de medida técnica y ambiental. El manejo de los residuos sólidos municipales (RSM) en América Latina y el Caribe,

además de ser complejo, ha evolucionado paralelamente con la urbanización, el crecimiento económico y la industrialización. Aunque esta problemática ha sido identificada desde hace varias décadas en las áreas metropolitanas, las soluciones parciales que hasta ahora se han generado no han cubierto a todos los países de la región, ni a la mayoría las ciudades intermedias y menores (Bernate, 2006). Confirmando que en nuestras regiones el tamaño de las ciudades, así como el ingreso per-cápita, se relacionan directamente con el incremento en las tasas de producción de residuos por habitante.

Numerosas investigaciones (e.g., Molano, 2005; Cantanhede, 1996; Sandoval, 1996; Rodríguez, 2002) han mostrado que el aumento en la producción de los residuos sólidos provenientes de los municipios y las grandes urbes, está asociado con la explosión demográfica que actualmente existe en nuestra región. Configurando una problemática interesante de abordar desde el punto de vista de la disposición final de los residuos sólidos, de una manera ambientalmente segura y adecuada. La problemática en las municipalidades no sólo se ha centrado en la existencia de un sitio para la disposición de los residuos sólidos, sino además, en el incremento de los botaderos a cielo abierto; generando constantemente afectaciones sobre el sistema hídrico, el ecológico y el socioeconómico. De allí, que con el paso de los años en nuestras regiones se ha estipulado y exigido su cierre. En el caso colombiano, está acción se concretó mediante la Resolución No. 1390 de 2005 del Ministerio del Medio Ambiente.

En Colombia al igual que en otros países de la región, la problemática ambiental en la gestión de los residuos sólidos es preocupante debido a que no se cuenta con los recursos económicos suficientes para el desarrollo de grandes instalaciones, que cumplan con las exigencias mínimas en la disposición final de los residuos sólidos. A pesar de que existe normatividad al respecto (i.e., en el caso colombiano el Decreto 838 de 2005), se carece de una metodología unificada que establezca de manera clara la forma de adelantar la evaluación de las áreas potenciales para el emplazamiento de este tipo de instalaciones.

En el capítulo 21 de la agenda 21, se establecieron las bases para el manejo integral de los residuos sólidos municipales como eje del desarrollo sostenible. Se estableció que en la gestión de los residuos sólidos se deben considerar las siguientes operaciones fundamentales: la minimización, el reciclaje, la recolección, el tratamiento, y una disposición final adecuada (Foy, 1998). La política colombiana para la gestión integral de los residuos sólidos estableció como objetivo fundamental: "*impedir o minimizar de la manera más eficiente, los riesgos que para los seres humanos y el medio ambiente ocasionan los residuos sólidos y peligrosos, contribuyendo a la protección ambiental eficaz y al crecimiento económico*" (Ministerio del Medio Ambiente, 1998). Esta es la premisa bajo la cual se debe articular el manejo de los residuos sólidos en una municipalidad, permitiendo continuar con las estrategias trazadas a corto, mediano y largo plazo para su desarrollo. Por lo tanto, las anteriores consideraciones deben ser las políticas orientativas en la identificación de los lugares potenciales para la disposición final de los residuos sólidos en una localidad.

La técnica de decisión multicriterio (MCDA) con la ayuda de las metodologías de ponderación jerárquica (APH) y de sumatoria lineal ponderada (SAW), busca a partir de la opinión de decidores ordenar y establecer prioridades para los criterios de evaluación. Las metodologías de análisis jerárquico y sumatoria lineal ponderada se basan en tres principios básicos: la construcción de jerarquías, el establecimiento de prioridades, y la evaluación de los juicios inconsistentes. Estas técnicas son unas de las más utilizadas en el análisis de la problemática ambiental generada por el emplazamiento de un relleno sanitario. Por lo tanto, se realizó una revisión bibliográfica internacional para determinar a través de la técnica multicriterio cuáles son los criterios, su orden de evaluación e importancia, en el desarrollo de una propuesta metodológica para la localización de los rellenos sanitarios mediante la utilización de los sistemas de información gráfica (Lootsma,

2000; Şener et al., 2006; Granados, 2002; Javaheri et al., 2006; Saeed et al., 2000; Nemesio et al., 2000; Mahini et al., 2006; Banar et al., 2007; Frau et al, 2006).

Por otro lado, los métodos que se fundamentan en las características de las unidades geomorfológicas evidencian de mejor manera las particularidades intrínsecas del territorio. Todo esto, a partir de la definición de las unidades "*homogéneas*" deducibles de las características geomorfológicas, sobre las cuales se valoran las variables que son utilizadas como indicadores de decisión. Su fortaleza se centra en el manejo de tres factores: (i) la vulnerabilidad del paisaje, (ii) las aguas superficiales, y (iii) las aguas subterráneas (Escriche, 1999). Por lo tanto, este tipo de métodos también fueron considerados en el desarrollo de la propuesta metodológica.

El objetivo principal de la presente investigación es desarrollar una metodología para la identificación de áreas potenciales para la localización de rellenos sanitarios mediante el uso de los sistemas de información geográfica, a partir del estudio y análisis de las metodologías internacionales que utilizan la técnica de decisión multicriterio y las que se fundamentan en las características geomorfológicas. Este artículo inicia con la presentación del desarrollo metodológico propuesto. Posteriormente, se presenta un ejemplo de aplicación a un caso colombiano. A continuación, se presentan escenarios de comparación entre la legislación colombiana (Decreto 838 de 2005) y, las metodologías de referencia y la propuesta. Finalmente, se exponen las principales conclusiones de la investigación.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Propuesta metodológica

El orden de evaluación propuesto en la metodología permitió determinar y ponderar adecuadamente cada uno de los criterios de valoración mediante la utilización de los sistemas de información geográfica. Es por esto, que se debe mantener el esquema procedimental de la misma manera. En la propuesta metodológica la escala de valoración de los diferentes terrenos de la municipalidad varía entre 0-1000 puntos. Las zonas con una ponderación cercana al límite superior de calificación, serán las de mayor compatibilidad para albergar una instalación de disposición final de residuos sólidos. A continuación se presentan de manera ordenada los criterios de evaluación, con sus respectivos rangos de puntuación.

a. Hidrología: los cuerpos de agua comunican las diversas zonas de vida y, en un momento dado, su afectación puede desembocar en daños de gran importancia para la supervivencia de las especies de flora, fauna y las comunidades humanas localizadas en las zonas de influencia directa e indirecta (Escriche, 1999). Por lo tanto, la posibilidad de llegada de un contaminante a las masas de agua superficiales (e.g., los lixiviados) hace necesaria su evaluación (ver Tabla 1).

Tabla 1. Valoración del criterio hidrología

Distancia a cuerpos hídricos	Puntos
> 2.000 m	50
1.000-2.000 m	30
500-999 m	15
50-499 m	7
< 50 m	0
Índice "D" Drenaje cauces permanentes	Puntos
< 1,0	50
1,0-3,0	40
3,0-6,0	20
6,0-12,0	10
> 12	0
Escorrentía Superficial	Puntos
< 50 mm	50
50-200 mm	40
200-350 mm	20
350-500 mm	10
> 500 mm	0

b. Accesibilidad vial: este criterio evalúa la facilidad y economía que la empresa prestadora del servicio público de aseo, en el componente de recolección y transporte, tiene para trasladar los residuos sólidos al área en que se efectuará la disposición final (MAVDT, 2005) (ver Tabla 2).

Tabla 2. Valoración del criterio accesibilidad vial

Condición vía principal	Puntos
Pavimentada	20
Sin pavimentar	8
Pendiente vía principal	**Puntos**
0-3%	20
3,1-5%	12
5,1-7%	8
> 7,1%	0
Distancia vía de acceso	**Puntos**
0-5 km	20
5,1-10 km	12
10,1-15 km	4
> 15 km	0
Pendiente vía acceso	**Puntos**
0-3%	20
3,1-5%	12
5,1-7%	8
> 7,1%	0
Número de vías acceso	**Puntos**
2 o más vías	20
Una vía	8
No hay vías	0
Condición vía de acceso	**Puntos**
Pavimentada	20
Afirmado	12
Carreteable	8
Trocha/no existe	0
Incidencia en tráfico	**Puntos**
Ninguna	40
Moderada	20
Grande	0

c. Distancia a perímetros urbanos y resguardos indígenas: este criterio se asocia con los costos de transporte en que incurriría la empresa prestadora del servicio público de aseo para transportar los residuos sólidos desde el perímetro urbano, incluida la zona de expansión urbana y los resguardos indígenas, al área en la que se efectuará la disposición final (MAVDT, 2005) (ver Tabla 3).

Tabla 3. Valoración del criterio distancia a perímetros urbanos y resguardos indígenas

Distancia a perímetros urbanos y resguardos indígenas	Puntos
2-5 km	100
5,1-10 km	50
10,1-25 km	20
25,1-50 km	10
> 50 km	0

d. Disponibilidad del material de cobertura: este criterio está relacionado con los costos de transporte en que incurre la persona prestadora del servicio para obtener y llevar el material de cobertura necesario para dar cumplimiento a las especificaciones técnicas y ambientales en los procesos de operación diaria y, cierre y clausura del relleno sanitario (MAVDT, 2005) (ver Tabla 4).

Tabla 4. Valoración del criterio disponibilidad del material de cobertura

Calidad material	Puntos
Recebo granular	40
Arcilla arenosa	32
Limo arenoso	20
Arcilla	16
Limo arcilla	8
Limos y Rocas	0
Distancia al material	**Puntos**
0-2 km	50
2,1-4 km	30
4,1-6 km	20
6,1-10 km	10
> 10 km	0

e. Condiciones de suelo y topografía: este criterio se compone de cuatro variables que permitieron determinar las facilidades de construcción y operación en el relleno sanitario (INCORA, 1995) (ver Tabla 5).

Tabla 5. Valoración del criterio condiciones de suelo y topografía

Pendiente terreno	Puntos
0,1-3%	40
3,1-7%	30
7,1-12%	20
12,1-25%	10
> 25%	0
Facilidad movimiento	**Puntos**
Muy fácil	40
Fácil	32
Regular	20
Difícil	12
Imposible	0
Clase agrológica[a]	**Puntos**

IV-V	40
I-III	10
VI-VIII	0
No Existe Información	0
Geoforma	Puntos
Zona quebrada y encajonada	40
Zona en media ladera parcialmente encajonada	32
Zona en media ladera abierta	20
Zona plana y abierta	12

Nota: [a] Clasificación según normatividad colombiana (INCORA, 1995)

f. Ocupación actual del área: la consideración de áreas catalogadas como rurales, urbanas, y de protección se encuentra encaminada al direccionamiento con respecto a los lineamientos de los planes de ordenamiento territorial en Colombia; los cuales permiten un desarrollo territorial estructurado en cada una de las municipalidades. A partir de lo anterior, la localización de un relleno sanitario resulta ser un aspecto impactante sobre los componentes físicos, bióticos, sociales y culturales, por lo que es necesario proteger aquellas ocupaciones que puedan ser vulnerables frente a este tipo de actividades (MAVDT, 2005) (ver Tabla 6).

Tabla 6. Valoración del criterio ocupación actual del área

Ocupación actual	Puntos
Rural	80
Sub-urbano	40
Urbano	20
Otros suelos de protección	0

g. Densidad poblacional: este criterio determina la posible afectación de la población ubicada en el área de influencia directa donde se efectuará la disposición final de los residuos (MAVDT, 2005) (ver Tabla 7).

Tabla 7. Valoración del criterio densidad poblacional

Densidad poblacional	Puntos
0-2 habitantes/Ha (Baja)	40
2,1-5 habitantes/Ha (Media)	20
> 5 habitantes/Ha (Alta)	0

h. Dirección de los vientos: este criterio evalúa el impacto generado por los olores y las partículas del relleno; es decir, que por su peso pueden ser transportadas por el viento durante las actividades de disposición final hacia los asentamientos poblacionales (ver Tabla 8).

Tabla 8. Valoración del criterio dirección de los vientos

Dirección del viento	Distancia al Perímetro Urbano (Km)		
	0-15	15-30	> 30
	Puntos		
En sentido contrario al casco urbano más cercano	0	40	40
En sentido del casco urbano más cercano	20	20	40

i. Restricciones: corresponde a las áreas donde si bien se puede localizar, construir y operar el relleno sanitario, se debe cumplir con ciertas especificaciones y requisitos particulares sin los cuales no es posible su localización, construcción y operación. Dentro de los parámetros restrictivos, se encuentra la distancia al suelo urbano, la proximidad a aeropuertos, las fuentes subterráneas, las áreas inestables, y las zonas de riesgo sísmico alto (MAVDT, 2005) (ver Tabla 9).

Tabla 9. Valoración del criterio restricciones

N° restricciones	Puntos
No existen restricciones	50
Existe una restricción	30
Existen dos restricciones	15
Existen más de dos restricciones	0

j. Capacidad: de acuerdo a las proyecciones de población y producción de residuos sólidos en el horizonte de vida del proyecto (30 años), se obtendrá el área requerida para la disposición final. A partir de esto, aquellas zonas que sean iguales o mayores al área requerida, obtendrán una calificación de 130 puntos, la cual descenderá en forma lineal según el área disponible.

k. Prohibiciones: corresponden a las áreas donde queda prohibido la localización, construc-

ción y operación de los rellenos sanitarios. Dentro de estas, se encuentran las fuentes superficiales, las fuentes subterráneas, hábitats naturales críticos, áreas del sistema de parques nacionales naturales, las zonas de amortiguación del sistema de parques nacionales, y áreas con fallas geológicas (MAVDT, 2005). Al ser un criterio que excluye zonas, no fue necesario asociarlo a una calificación.

Finalmente, la

Figura **1** presenta el modelo funcional para la metodología propuesta.

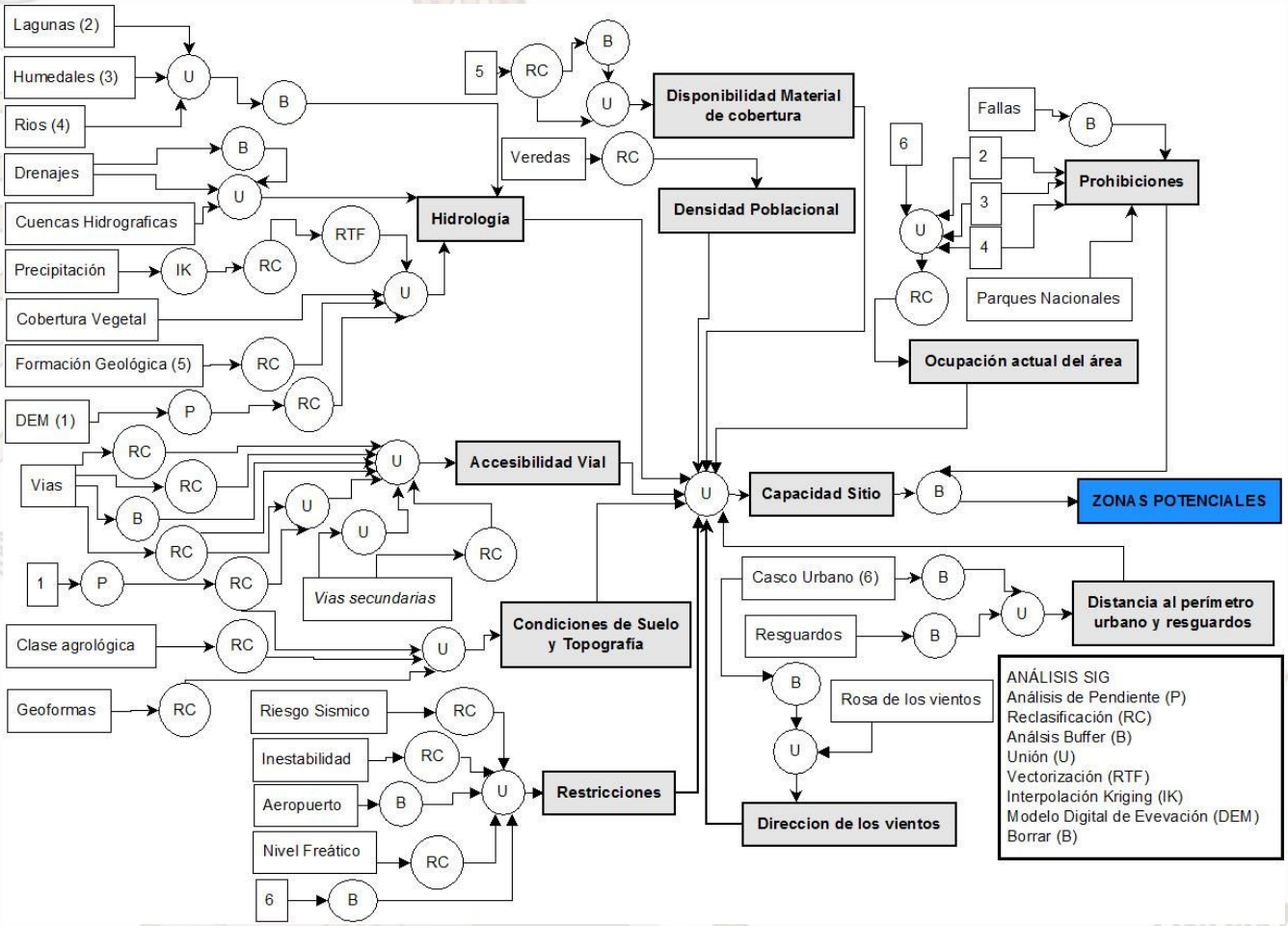


Figura 1. Modelo funcional para la metodología propuesta. Criterios y procedimientos principales.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.2 Ejemplo de aplicación

El ejemplo de aplicación fue desarrollado para el municipio de Tame (Colombia). El municipio está localizado a 6°27′ N y 71°46′ W, tiene una elevación media de 350 m.s.n.m., cuenta con una población rural y urbana de 28.442 habitantes y 19.134 habitantes, respectivamente; y posee un área superficial de 5.365 km^2. Por otro lado, la temperatura promedio anual es de 26°C, la precipitación media anual es de 2.200 mm y la dirección predominante del viento es noreste. En el sistema hídrico de la municipalidad se pueden distinguir tres ríos principales (i.e., hoyas hidrográficas): el río Casanare, río Cravo Norte y río Ele. Finalmente, la municipalidad alberga el parque nacional natural Sierra Nevada del Cocuy, localizado al suroeste del casco urbano.

A continuación se presentan los resultados obtenidos después de aplicar la metodología propuesta al caso de estudio.

a. Hidrología (ver Tabla 10).

Tabla 10. Resultados para el criterio hidrología

Variable	Puntos	% Área	Observación
Distancia a cuerpos hídricos	50	12,7	>2 Km
Drenaje a cauces permanentes	50	38,2	D >1,0[a]
Escorrentía superficial	50	0,0	<50 mm

Nota: [a] Índice de drenaje (relación entre densidad de drenaje y la distancia a masas de agua)

b. Accesibilidad vial (ver Tabla 11).

Tabla 11. Resultados para el criterio de accesibilidad vial

Variable	Puntos	% Área	Observación
Condición de la vía principal	20	29,9	Pavimentada
Pendiente promedio de la vía principal	20	33,0	0-3%
Distancia vía de acceso	20	31,5	0-5 Km
Pendiente promedio de la vía de acceso	20	33,0	0-3%
Número de vías de acceso	8	100,0	Una vía
Condición de la vía principal de acceso	20	29,9	Pavimentada
Incidencia en la congestión del tráfico de la vía principal	40	100,0	Ninguna

c. Distancia al perímetro urbano y resguardos indígenas (ver Tabla 12).

Tabla 12. Resultados para el criterio distancia al perímetro urbano y resguardos indígenas

Variable	Puntos	% Área	Observación
Distancia al perímetro urbano y resguardos	100	15,6	2-5 km

d. Disponibilidad del material de cobertura (ver Tabla 13).

Tabla 13. Resultados para el criterio disponibilidad del material de cobertura

Variable	Puntos	% Área	Observación
Calidad de material de cobertura	40	6,4	Recebo granular
Distancia al material	50	33,9	0-2 Km

e. Condiciones de suelo y topografía (ver Tabla 14).

Tabla 14. Resultados para el criterio condiciones de suelo y topografía

Variable	Puntos	% Área	Observación
Pendiente del terreno	40	54,8	0,1-3%
Facilidad movimiento de tierras	50	54,8	Muy fácil
Clase agrológica	40	25,2	IV-V
Geoforma	40	29,0	Zona quebrada y encajonada

f. Ocupación actual del área (ver Tabla 15).

Tabla 15. Resultados para el criterio ocupación actual del área

Variable	Puntos	% Área	Observación
Ocupación actual	80	61,1	Rural

g. Densidad poblacional (ver Tabla 16).

Tabla 16. Resultados para el criterio densidad poblacional

Variable	Puntos	% Área	Observación
Densidad	40	89,7	0-2 hab/Ha

h. Dirección de los vientos (ver Tabla 17).

Tabla 17. Resultados para el criterio dirección de los vientos

Variable	Puntos	% Área	Observación
Dirección viento	40	53,2	Sentido contrario casco urbano (>30 km)

i. Restricciones (ver Tabla 18).

Tabla 18. Resultados para el criterio restricciones

Variable	Puntos	% Área	Observación
Restricc.	50	0,44	No existen

j. Capacidad: las proyecciones poblacionales con los modelos aritmético, geométrico y exponencial mostraron que la población futura de diseño era de 280.324 habitantes, con un horizonte de diseño de 30 años (año 2038). Por lo tanto, la producción de diseño estimada fue de 323,22 toneladas por día. Adicionalmente, el volumen anual de residuos sólidos por gestionar en el sitio de disposición final fue de 147.471 m^3/año y, finalmente, el volumen real (con cobertura intermedia y final) depositado fue de 176.965 m^3/año. A partir de lo anterior, se determinó que el área superficial requerida para la disposición final mediante la técnica de trinchera era de 12 Ha (calificación de 130 puntos). En la anterior estimación se consideraron los municipios vecinos localizados dentro de un radio de influencia de 60 km, con respecto al casco urbano de la municipalidad en estudio (i.e., por posibles emergencias). Las municipalidades consideradas fueron: Saravena, Arauquita, Fortul, Paz de Ariporo, Hato Corozal, Cubará, Puerto Rondón, Sácama y la Salina.

k. Prohibiciones (ver Tabla 19).

Tabla 19. Resultados para el criterio prohibiciones

Variable	Puntos	% Área	Observación
Prohibiciones	-	45,8	Parque nacional natural, zona de amortiguación, drenajes, zonas con fallas

Una vez evaluados los criterios de la propuesta metodológica, se efectuó una superposición cartográfica con el fin de vincular las calificaciones a una misma capa de información; a partir de ésta, se descartaron todas aquellas zonas con prohibición. El mapa producto de la aplicación de la metodología se presenta en la Figura 2. Para obtener una mejor visualización de los resultados, se decidieron establecer rangos de escogencia para las zonas potenciales de localización de los rellenos sanitarios, a partir de la escala de valoración establecida (0-1000 puntos).

Como se puede observar en la Tabla 20, la metodología propuesta estimó que las zonas con mayor potencial (i.e., con una calificación entre 95-100% de la ponderación máxima) representaron un 0,3% de la superficie del municipio (16,1 Km^2). Estas zonas se localizaron principalmente al norte del casco urbano de la municipalidad en estudio (ver Figura 2).

Tabla 20. Rangos de escogencia según para metodología propuesta

Rango de escogencia	% Área
95-100%	0,3
90-95%	2,3
85-90%	10,3
80-85%	16,7
60% - 80%	68,7
< 60%	1,7

1.3 Escenarios de comparación

Se desarrollaron tres escenarios de comparación con respecto a la legislación vigente en Colombia (i.e., el Decreto 838) (MAVDT, 2005), con el objeto de evaluar la diferencia entre las metodologías de referencia y la propuesta metodológica. La prueba *t* de *student* mostró que existían diferencias significativas en la estimación de las áreas potenciales para el emplazamiento de un relleno sanitario, entre la legislación colombiana y el desarrollo metodológico propuesto en la presente investigación. Igualmente, existieron diferencias significativas entre la legislación colombiana y los métodos de referencia (i.e., MCDA y UGMF).

La Figura 1 presenta los mapas obtenidos para cada una de las metodologías consideradas en la presente investigación.

Con respecto al 95% de la ponderación máxima, la metodología propuesta fue un 81% más restrictiva que la legislación colombiana en la estimación de la disponibilidad de área. Igualmente, las metodologías UGMF y la revisión bibliográfica (MCDA) fueron un 73% y 97% más restrictivas, respectivamente (ver Tabla 15). A medida que aumentaba el rango de ponderación, las diferencias en la disponibilidad del área entre los métodos en estudio fueron mayores.

Tabla 15 – Diferencia en la disponibilidad de área entre la legislación colombiana y, las metodologías de referencia y la propuesta

Rango de ponderación (%)	MCDA/838	UGMF/838	Propuesta/838
	Diferencia (%)	Diferencia (%)	Diferencia (%)
> 95	97,5	73,3	81,1
> 90	84,1	92,8	79,1
> 85	60,5	68,4	56,9
> 80	18,9	64,4	38,7
> 75	24,1	54,2	38,1
> 70	20,6	54,8	21,5
> 65	13,3	46,3	13,5
> 60	7,8	9,6	5,1

Dentro de los criterios que se integraron a la propuesta metodológica y que no son considerados por la legislación colombiana vigente, se debe resaltar la inclusión del criterio denominado *Hidrología*. Este criterio evalúo la vulnerabilidad de las aguas superficiales por el incremento en la producción de los lixiviados, asociado con la precipitación, la cobertura y el uso del suelo, la pendiente del terreno, y la geología de la zona.

A partir de la revisión bibliográfica de las metodologías internacionales y de la aplicación de la técnica de decisión multicriterio (MCDA), se observó que la mayoría de los criterios abordados por otros investigadores son considerados por la legislación colombiana. Sin embargo, por el manejo especial que se le debe dar a los parques naturales colombianos, se consideró en la propuesta metodológica no limitar la protección de estas zonas únicamente por medio de prohibiciones en su área de influencia directa, sino además, se vincularon aquellas áreas de influencia indirecta en las que existen transiciones de tipo ecológico, de paisaje y de relieve, como lo son las zonas o franjas perimetrales de amortiguación.

Por otro lado, la técnica multicriterio permitió discriminar de mejor manera cada una de las clases agrológicas al tener en cuenta la aptitud del suelo frente a la dinámica productiva de la municipalidad. Por ejemplo, se definió que aquellas zonas con un alto potencial agrícola son poco recomendables para diferentes usos, ya que representan una oportunidad de crecimiento y desarrollo de las economías locales y regionales. Igualmente, se definió que estas zonas son ambientalmente sensibles (i.e., son ecosistemas críticos) y, por lo tanto, se les debe asignar en la evaluación una ponderación nula por su carácter de protección.

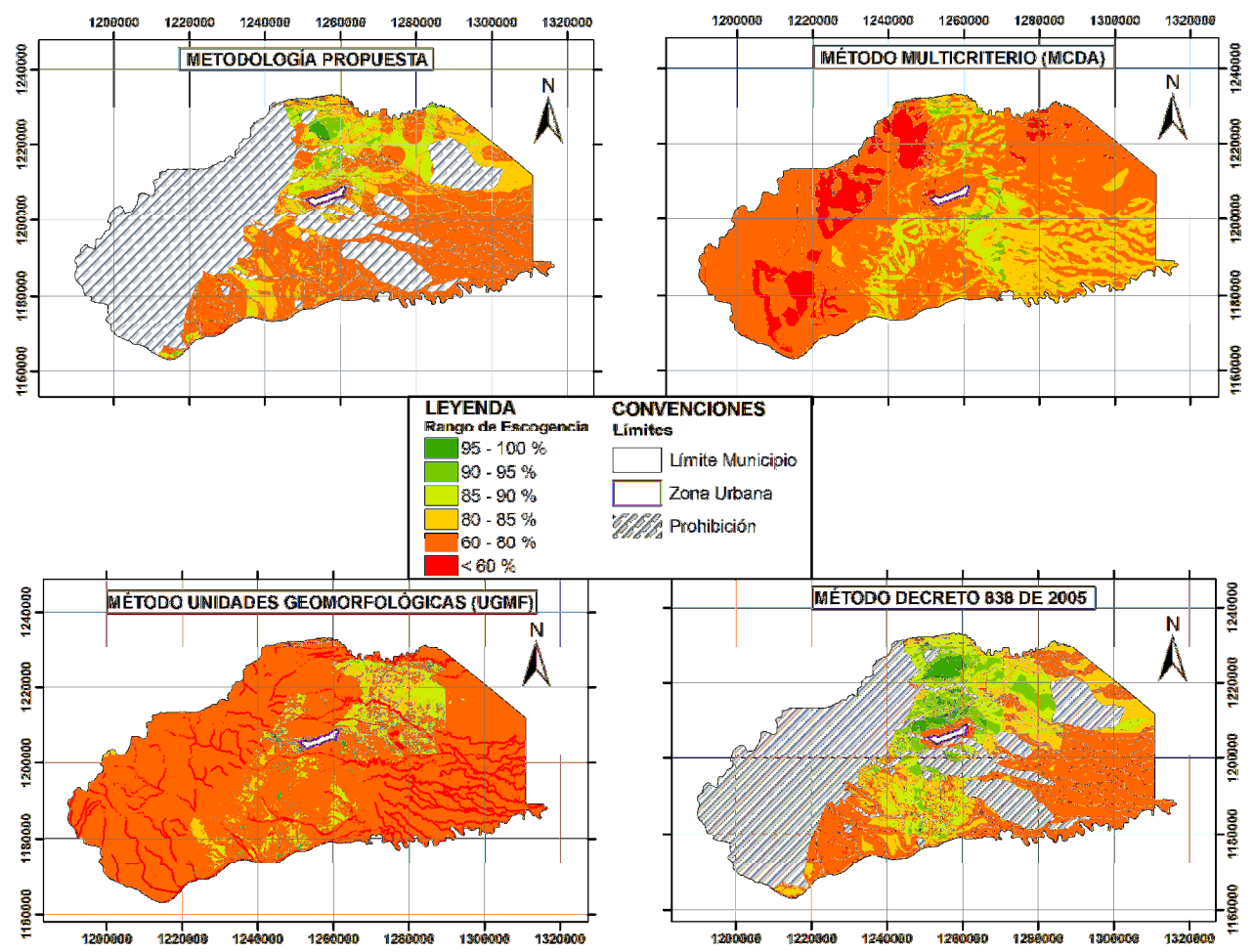


Figura 2. Zonas compatibles para la localización de un relleno sanitario. Métodos evaluados

IV. CONCLUSIONES

La propuesta metodológica para la determinación de las zonas potenciales para la localización de un relleno sanitario, logra sintetizar las variables que condicionan su construcción y operación; en donde se consideran las características físicas, hidrológicas, socioculturales y técnicas que permiten seleccionar las mejores opciones de la municipalidad en estudio.

Los resultados muestran que la metodología propuesta es un 81% más restrictiva que la legislación colombiana en la estimación de la disponibilidad de área. Igualmente, las metodologías de referencia (UGMF y la revisión bibliográfica-MCDA) son un 73% y 97% más restrictivas, respectivamente.

La metodología propuesta para el análisis y modelación de los criterios mediante la herramienta S.I.G., actúa coordinadamente y sistemáticamente para recolectar, manipular, interactuar, analizar y desplegar información final, permitiendo obtener resultados reales y representados a través de mapas.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten ampliar el conocimiento acerca del desarrollo de metodologías para la localización de los rellenos sanitarios en nuestras municipalidades. Son útiles para el mejoramiento de las metodologías que utilizan los sistemas de información geográfica como herramienta de análisis territorial.

V. RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo económico proveído por el Centro de Investigaciones y Desa-

rrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

VI. REFERENCIAS

Başak Şener., Lutfi Suzen M. y Doyuran V., 2006. Landfill site selection by using geographic information systems. Environmental Geology. Vol 49. No. 3. Recuperado el 08 de Octubre de 2010 del sitio Web. Revista Electrónica http://www.springerlink.com/home/main.mpx.

Bernate G., A., 2006. Generación de Residuos Sólidos en el Contexto Local y Latinoamericano.

Cantanhede A., 1996. Seminario Taller "Gestión ambiental a nivel municipal". OPS/BVSDE. Lima. Junio, 1996. Recuperado el 06 de Junio de 2009 de la web: http://www.bvsde.paho.org

Escriche, P. J., 1999. Condicionantes Geomorfológicos e Hidrogeológicos para el emplazamiento de Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos a Escala Regional. Madrid: Universidad Complutense de Madrid., 1999.

Franco R., 2009. Cuso Sistema de Información Geográfica, III. Base de Datos Espaciales. Universidad Distrital F.J.C. Web actualizada 11-02-2010. Bogotá, Colombia. [URL: http://www.udistrital.edu.co/comunidad/profesores/rfranco/modelo_er.htm]. Consultado 05/02/2010

Foy, Pierre, 1998. Agenda 21: desarrollo sostenible: un programa para la acción. Fondo Editorial. S.l., Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Instituto Colombiano de la reforma agaria (INCORA), 1995. Resolución 2965.

Javaheri. H., Nasrabadi. T., Jafarian. M.H., Rowshan. G.R., y Khoshnam. H., 2006. Site Selection of municipal solid waste landfills using APH method in a Geographical Information Technology Environment in Giroft.Bioline International. Recuperado el 10 de Noviembre de 2009 de la web: http://www.bioline.org.br

Lootsma F., 2000. The decision analysis and support project. (E. F. Lootsma, Ed.). Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. [URL:http://www3.interscience.wiley.com/journal/73000946/issue]. Consultado 30/11/2009.

MAVDT, 2005. Programa Nacional de Asistencia Técnica y Capacitación para la Formulación de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico - Universidad del Valle.

Mena Frau, C., Gajardo, J., y Ormazábal, Y., 2006. Modelación Espacial mediante Gomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. vol. 14. No. 1. pp. 81-89. Revista electrónica Scielo.

Ministerio del Medio Ambiente., 1998. Política para la Gestión Integral de Residuos. Aprobado por el Consejo Nacional Ambiental.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), 2005. Decreto 838. *Disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.* s.l., Colombia: Diario Oficial 45.862.

Molano, L., 2005. Rellenos Sanitarios Regionales. Saneamiento Básico y Ambiental. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá.

Resolución No. 1390, 2005. República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Rodríguez. L., 2002. Hacia la gestión ambiental de residuos sólidos en las metrópolis de América Latina. Universidad de Chile. Noviembre.

Sandoval. L., 1996. Simposio sobre alternativas municipales para el manejo de basura doméstica y desagües. Manejo de Residuos solido domiciliarios. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. OPS/BVSDE. Lima, Perú.

Saeed. M.O., Ahamad. M.S., Aziz. H.A., 2009. The Landfill Siting Technology: Challenging and Trends. Recuperado el 22 de Diciembre de 2009 de la web.: http://www.kuwaitwaste.com/papers/14.pdf

Umaña Granados. J., 2002. Método de Evaluación y Selección de Sitio para Relleno Sanitario. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitario y Ambiental. Cancún, México.

Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Hugo Nájera Aguilar[1], Humberto Castañón G[2], Alonso Figueroa G[3] y Ma. Neftalí Rojas Valencia[4]

[1]Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Escuela de Ing. Ambiental. Lib. Nte. Pte. 1150. C.P. 29000. Col. Lajas Maciel. Tuxtla Gtz., Chiapas, Méx. Tel. 01961-12 56033; E-mail: hnajera72@hotmail.com

[2]Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; Tel. and fax: +52 (961) 6150380 ext 325.
[3]Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ingeniería, Tuxtla Gtz., Chiapas, Blvd. Belisario Domínguez km. 1081. Colonia Centro. C.P. 29020. TEL. 01 961 61 7 80 00 EXT. 1560.
[4] Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería. Edif. 5, Post Box 70-472, Coyoacán, C.P. 04510. México, D. F. México. Tel. (52) (55) 56233600. Ext. 8663. Fax. (52) (55) 56162164

Resumen

Se llevó a cabo la caracterización del lixiviado producido en la zona clausurada del sitio de disposición final de residuos sólidos, de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. El lixiviado resultó ser maduro, al que se realizaron ensayos con el proceso de coagulación-floculación para su tratamiento. Como coagulantes fueron empleados: cloruro férrico ($FeCl_3$) y sulfato ferroso ($FeSO_4$) a diferentes dosis (1.4, 1.6 y 1.8 g/L) con valores de pH (4, 5 y 6), en un diseño factorial 3^2. Para evaluar la eficiencia del proceso, se cuantificó la carga orgánica medida como demanda química de oxígeno (DQO). Los resultados mostraron que el $FeCl_3$ fue por mucho más efectivo que el $FeSO_4$ en la remoción de materia orgánica. Asimismo, los resultados arrojan que las mejores eficiencias de remoción en DQO (67%) fueron alcanzadas a un pH de 6 y con una dosis de $FeCl_3$ de 1.4 g/L.

Palabras clave - Lixiviado maduro, coagulación-floculación, cloruro férrico, sulfato ferroso.

Abstract

This Project set out to study the nature and composition of the leachate produced in the sealed off area of the landfill in the city of Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mexico. The leachate was found to be mature, and therefore experiments using the coagulation-flocculation process were performed to treat the leachate. The two coagulants used were: ferric chloride ($FeCl_3$) and ferrous sulphate ($FeSO_4$), applied in different doses (1.4, 1.6 and 1.8 g/L), using 3 different pHs (4, 5 and 6), in a 3^2 experimental arrangement. In order to assess the efficiency of the process, the organic charge was quantified in terms of chemical oxygen demand (COD). The results showed that $FeCl_3$ was considerably more effective than $FeSO_4$ in the removal of organic matter. It was also observed that the best removal efficiencies measured in COD (67%) were obtained at pH 6 using a dose of 1.4 g/L of $FeCl_3$.

Keywords – Leachate type III, coagulation-flocculation, ferric chloride, ferrous sulphate.

I. INTRODUCCIÓN

El Estado de Chiapas cuenta con más de 118 sitios para la disposición final de residuos sólidos -coloquialmente conocidos con el término de "basureros"-, operando más del 95% de estos, como tiraderos a cielo abierto, sin control alguno y con afectaciones al entorno. Estos sitios operados ya sea de una forma controlada o incontrolada, generan dos tipos de emisiones: las gaseosas y las líquidas; las primeras están compuestas principalmente por metano y bióxido de carbono, en tanto que las segundas son lixiviados. Estos líquidos provienen de desechos heterogéneos en composición y arrastran todo tipo de contaminantes, muchos de ellos en concentraciones elevadas, por lo que son catalogados como uno de los residuos más complejos y difíciles de tratar (Luna *et al*. 2007). Los lixiviados contienen concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo ácidos húmicos, nitrógeno amoniacal y metales pesados, así como sales inorgánicas (López y Peralta, 2005; Wisniowski *et al*. 2006).

La norma oficial, NOM-083-SEMARNAT-2003 y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en su artículo 5 fracción XVI de la República Mexicana, definen a los lixiviados como el "líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos".

De acuerdo con Deng y Englehardt (2007), cuando estos líquidos no son controlados pueden permear hasta llegar al agua subterránea o mezclarse con aguas superficiales y contribuir a la contaminación de suelo, agua subterránea y superficial.

En la actualidad, el nulo manejo de los lixiviados constituye la práctica común en el Estado de Chiapas, lo que deja ver el gran vacío, falta de interés y poco conocimiento que hasta la fecha se ha tenido con uno de los residuos más complejos y contaminantes -sino el mayor- generados ininterrumpidamente en el territorio estatal.

Como cualquier líquido contaminado con la necesidad de proporcionarle un tratamiento, uno de los primeros pasos lo constituye su caracterización. En el caso de los lixiviados dado su heterogeneidad y complejidad en su composición, existen parámetros básicos al momento de decidir el sistema de tratamiento a emplearse. La carga orgánica medida como DBO y DQO son dos de ellos, y básicamente la relación que existe entre ambos define en gran medida la biodegradabilidad del lixiviado. Wang *et al*. (2003) definen a un lixiviado pobre en biodegradabilidad cuando la relación o índice de biodegradabilidad se sitúa en valores de 0 a 0.17, en tanto que para otros autores cuando es menor a 0.3 (Luna *et al*. 2007; Deng 2007). A este tipo de lixiviado se le conoce como viejo o estabilizado. Por el contrario, cuando el índice de biodegradabilidad es superior a 0.3, se considera que el lixiviado es biodegradable y es conocido como lixiviado joven (típicamente menor de dos años de edad) (Deng 2007b). Así, para este tipo de lixiviado como primera etapa de tratamiento, siempre será recomendable aplicar tratamientos biológicos; mientras que para un lixiviado viejo, los procesos fisicoquímicos se convierten en la mejor opción (Kurniawan *et al*. 2006).

Dentro de los tratamientos fisicoquímicos destacan la coagulación y la oxidación química, además de la adsorción con carbón activado, la precipitación química y los procesos con membrana (Amokrane *et al*. 1997).

En el tratamiento de lixiviados, la coagulación se ha empleado como pretratamiento antes de los procesos biológicos o como etapa de pulimiento para remover componentes orgánicos no biodegradables, o bien, bajo esquemas acoplados con procesos de oxidación avanzada (Monje y Orta, 2004). Renou *et al*. (Renou *et al*. 2008) reportan 15 estudios conducidos bajo el proceso de coagulación-floculación alrededor del mundo, donde se ha experimentado con diferentes coagulantes tales como sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), cloruro férrico ($FeCl_3$) e hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$), buscando las condiciones experimentales óptimas en lo referente al pH, dosis y velocidades de mezclado. Las eficiencias de remoción alcanzadas (8-90% en DQO) empleando uno o dos de estos coagulantes así como las condiciones de trabajo han sido muy variadas.

El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia del proceso de coagulación en la remoción de materia orgánica medida como DQO, para lixiviados de la zona clausurada del sitio de disposición final (SDF) de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, bajo distintas condiciones de operación y con dos coagulantes diferentes.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los lixiviados fueron colectados de tres cárcamos (Figura 1) de la zona clausurada (12 Ha) del relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez en el año 2006 y 2008. Las muestras fueron refrigeradas a 4°C hasta su determinación. La metodología se basó en las normas mexicanas vigentes para aguas residuales, adaptadas al comportamiento de lixiviados.

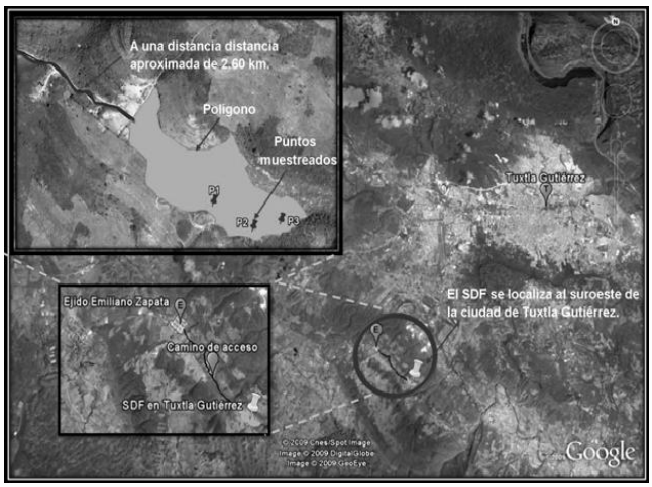


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el SDF de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

Los ensayos de coagulación y floculación fueron llevados a cabo en un equipo de prueba de jarras JARTESTER marca PHIPPS AND BIRD PB-700, adaptándose 6 vasos de precipitado de 150 mL con paletas planas de agitación (18.5 mm x 43.5 mm). Antes de iniciar las pruebas, las muestras fueron llevadas a temperatura ambiente, agitadas y filtradas para remover cualquier sólido grueso presente. El volumen de muestra por vaso fue de 100 mL.

Como sustancias coagulantes se utilizó cloruro férrico ($FeCl_3$) y sulfato ferroso ($FeSO_4$) de la marca Fermont, variando las dosis desde 1.4 hasta 1.8 g/L, así como los valores de pH de reacción (4, 5 y 6), partiendo de condiciones óptimas encontradas por Monje y Orta (2004) para el proceso de coagulación con $FeCl_3$. Considerando estas variables, se estableció un diseño experimental 3^2 factorial para cada coagulante. De cada tratamiento se realizaron 10 repeticiones, en total 90 réplicas.

Para el establecimiento del tiempo y velocidad de mezcla rápida, se consideraron 80 segundos y 250 rpm, respectivamente, valores cercanos a los manejados por Castillo *et al*. (2006). En el periodo

de mezcla lenta, se fijó un tiempo de 20 minutos y 30 rpm. Enseguida, las muestras se dejaron sedimentar por espacio de 30 min.

Pasado este período, alrededor de 10 mL de muestra fueron tomados 2 cm por debajo del nivel del sobrenadante. A estas alícuotas de lixiviados se determinó la concentración final de carga orgánica medida como demanda química de oxígeno (DQO). Las determinaciones de DQO se realizaron por el método de reflujo cerrado (método colorimétrico) del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1992) con apoyo de un equipo de digestión HACH y de un espectrofotómetro 20D+. De igual manera, se determinaron las lecturas iniciales de DQO en las muestras de lixiviados.

La eficiencia de remoción en el parámetro DQO fue obtenido usando la ecuación (1), donde C_i y C_f representan la concentración inicial y final de la DQO en mg/L, respectivamente.

$$\%\text{Remoción} = [(C_i - C_f)/C_i] \times 100, \qquad (1)$$

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de caracterización de lixiviados de la zona clausurada del SDF de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, se muestran en la Tabla 1, en donde se manejan únicamente los promedios y el rango de cada uno de ellos así como su desviación estándar. De la tabla destacan los valores de materia orgánica registrados, con promedios en DQO y DBO de 21,424 y 3,434 mg/L, así como 6,178 y 927 mg/L para los años 2006 y 2008, respectivamente.

Las diferencias en carga orgánica se atribuyen a que para el año 2006 el sitio aún se encontraba en operación donde puede esperarse una mezcla de lixiviados jóvenes con viejos, considerando que el lugar inició operaciones en el año de 1995, y dejando de recibir residuos en el primer trimestre del 2008. A pesar de lo anterior, se observa en ambos periodos un índice de biodegradabilidad inferior a 0.3, valor de suma importancia dado que define en gran medida el tipo de lixiviado y tratamiento al cual deberá someterse el líquido en cuestión. De acuerdo con diversos autores (Deng 2007; Luna *et al*. 2007), registros inferiores a 0.3 determinan que el lixiviado es maduro o de tipo III y por tanto, autores como Aziz *et al.* (2007) lo catalogan como poco biodegradable con la presencia de materiales orgánicos recalcitrantes que son parcialmente estables y biológicamente resistentes. De igual manera, los valores de pH y alcalinidad registrados corresponden a un lixiviado del tipo III, con valores entre el rango de 6.8-9.0 y 1,020-12,300 mg/L, respectivamente (Wang *et al*. 2003).

Tabla 1. Características de los lixiviados del área clausurada del SDF de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Parámetros	Año 2006* Conc. (mg/L)			Año 2008 Conc. (mg/L)		
	Prom	Mín	Máx	Prom	Mín	Máx
pH	8.02	7.01	8.43	8.56	8.37	8.83
DQO	21424	159	15855	6178	4657	7102
DBO	3434	6362	44033	927	104	1301
IB	0.16	0.004	0.525	0.15	0.02	0.19
Alcalinidad	10011	2900	16640	9134	8546	9769
SST	559.3	37.5	2730	…	…	…
Fierro	31.54	9.34	111.51	21.16	17.1	25.20
Niquel	1.092	0.646	1.969	1.64	1.4	1.88
Plomo	0.244	0.135	0.475	1.85	0.48	3.23
Zinc	1.631	0.632	2.94	3.43	2.45	4.41
Cobre	0.119	0.063	0.171	0.19	0.14	0.235
Cadmio	0.026	0.008	0.038	2.73	3.49	1.964
Cromo	1.919	0.623	3.977	0.83	…	…

(*) Cisneros *et al*. 2007.

Respecto a la presencia de sólidos suspendidos, se tiene una concentración promedio relativamente alta si se compara con valores típicos encontrados para lixiviados, por ejemplo, algunos autores

(Aziz *et al*. 2007; Cabeza *et al*. 2007; Primo *et al*. 2008) reportan valores en el rango de 280-320 mg/L, registros mayores del orden de los 550 mg/L como los encontrados son dados por Lei *et al.* (2007).

Referente a las concentraciones de metales pesados, estas muestran cierta similitud con las reportadas para otros rellenos sanitarios en fase metanogénica (Tabla 2). Llama la atención los valores altos de fierro registrados en el lugar de estudio (21.16-31.54 mg/L) aún por arriba del reportado para el relleno sanitario de Curitiba y más aún de los encontrados en rellenos sanitarios de México, como es el caso del ubicado en la Ciudad de Mérida, Yucatán, México, con 8.54 mg/L.

De acuerdo con Nájera *et al.* (2007), las rocas que afloran en la zona clausurada del SDF de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, corresponden a interacciones de arenisca con limonitas además de lutitas y calizas arcillosas. Como se sabe, las limonitas son un grupo de minerales de hierro, lo que puede explicar la elevada concentración de este elemento en el lixiviado, esto considerando que Tuxtla Gutiérrez no es una ciudad industrializada.

Tabla 2. Concentración de metales pesados en lixiviados maduros de diferentes rellenos sanitarios.

	Relleno sanitario (valores promedio)			
Parám. (mg/L)	**Bordo Poniente (Méx)**[1]	**Mérida, Yuc. (Méx)**[2]	**Jebel Chakir (Túnez)**[3]	**Curitiba (Brazil)**[4]
Fierro	nr	8.54	nr	13.212
Niquel	nr	0.35	0.53	1.429
Plomo	nr	0.03	nr	0.278
Zinc	0.44	0.59	0.94	1.059
Cobre	0.19	0.063	0.14	0.362
Cadmio	0.13	0.0014	nr	nr
Cromo	2.42	nr	2.24	0.451

[1]Orta et al. (2006); [2]Méndez et al. 2008; [3]Tizaoui *et al*. 2007; [4]Lopes y Peralta 2005; *nr = no reportado;*

De esta manera, Kurniawan *et al.* (2006) recomendaron que ante lixiviados de tal composición, los tratamientos fisicoquímicos deben ser considerados como primera etapa, así en el presente trabajo se probó el proceso de coagulación floculación utilizando sulfato ferroso y cloruro férrico.

Considerando que las variables relevantes del proceso lo constituyen la dosis de coagulante y el pH, se partió de un diseño experimental 3^2 mostrado en la Tabla 3, es decir, dos factores y tres niveles teniendo como variable respuesta la demanda química de oxígeno.

Tabla 3. Diseño factorial 3^2 en la optimización del sistema coagulación-floculación con ambos coagulantes.

Variable	**Niveles**		
	a	**b**	**c**
pH	4	5	6
Coagulante	1400 mg/L 1600 mg/L 1800 mg/L	1400 mg/L 1600 mg/L 1800 mg/L	1400 mg/L 1600 mg/L 1800 mg/L

Los ensayos se llevaron a cabo con muestras de lixiviados diluidas hasta una concentración inicial de DQO del orden de los 1100 mg/L (Tabla 4).

De la tabla puede observarse que de los dos coagulantes probados, el $FeCl_3$ fue en promedio cinco veces más efectivo que el $FeSO_4$ en la remoción de materia orgánica medida como DQO para todos los ensayos efectuados, y que de los valores de pH probados, a pH 6 se registraron las mayores eficiencias de remoción acompañadas de la dosis de $FeCl_3$ más baja. Estos resultados coinciden en parte con lo reportado por Aziz *et al.* (2007) en cuanto a la supremacía del $FeCl_3$ sobre el $FeSO_4$ en la remoción de materia orgánica y con mayores eficiencias de remoción a pH 6. Sin embargo, la mayor eficiencia que ellos reportan es de 44.7% de DQO partiendo de una dosis y

concentración inicial de 2500 y 2980 mg/L de coagulante y DQO, respectivamente. Mientras que en el presente estudio, las eficiencias de remoción alcanzadas en DQO fueron de 67.3%.

Tabla 4. Efecto del pH y dosis de coagulante sobre la remoción de DQO.

pH	Coagulante ($FeCl_3$)			
	Dosis (mg/L)	**1400**	**1600**	**1800**
4	$[DQO]_o$ (mg/L)	1030	1030	1078
	$[DQO]_f$ (mg/L)	555	552	590
	% Remoción	46.1	46.4	45.3
5	$[DQO]_o$ (mg/L)	1030	1132	1132
	$[DQO]_f$ (mg/L)	497	590	560
	% Remoción	51.8	47.9	50.5
6	$[DQO]_o$ (mg/L)	1105	1138	1138
	$[DQO]_f$ (mg/L)	361	400	460
	% Remoción	67.3	64.9	59.6
	Coagulante ($FeSO_4$)			
4	$[DQO]_o$ (mg/L)	1086	1086	1086
	$[DQO]_f$ (mg/L)	993.3	956.7	973.6
	% Remoción	8.5	11.9	10.3
5	$[DQO]_o$ (mg/L)	1086	1086	1086
	$[DQO]_f$ (mg/L)	973.6	976.4	939.9
	% Remoción	10.3	10.1	13.5
6	$[DQO]_o$ (mg/L)	1086	1086	1086
	$[DQO]_f$ (mg/L)	984.3	937	956.7
	% Remoción	9.3	13.7	11.9

Para constatar las evidencias de los resultados, se procedió a realizar un análisis de varianza con el programa estadístico JMP 5.1, obteniéndose lo mostrado en la Tabla 5 y Figura 2, considerando únicamente los resultados obtenidos con el mejor coagulante ($FeCl_3$).

Tabla 5. Análisis de varianza de dos vías.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Relación F
pH	2	5317.15	61.10
FeCl3	2	267.05	3.069
Interacción	4	272.04	1.563
Error	81	3524.38	Prob > F
C. Total	89	9380.63	<.0001

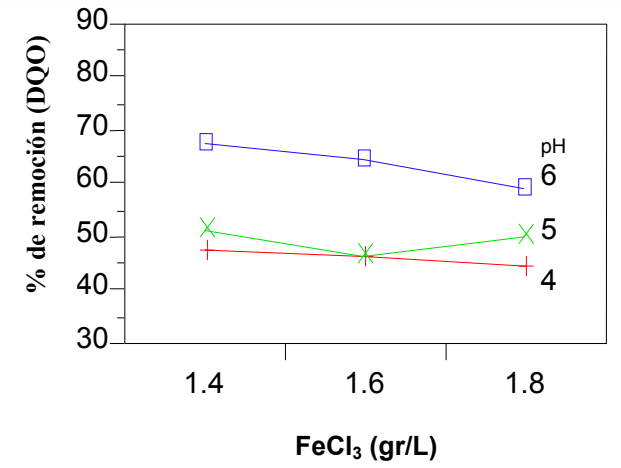


Figura 2. Gráfica de promedio (± error estándar) para la interacción entre tratamientos.

De acuerdo al modelo, alrededor de un 60% de los datos presentan variabilidad, lo que se ve reflejado con el cuadro de ANOVA donde se aprecian diferencias significativas. Mientras que de la Figura 2, se observa que todas las combinaciones a pH 6 presentan diferencias significativas con el resto de combinaciones a pH 4 y 5, así también, puede corroborarse que las mejores eficiencias de remoción son obtenidas a pH 6 con la dosis más baja de coagulante.

Observando los resultados obtenidos a pH 6, se visualiza que a menor concentración de coagulante las eficiencias de remoción fueron mayores, ante lo cual, se corrieron ensayos adicionales empleando las mismas condiciones de pH variando

únicamente a la baja la dosis de $FeCl_3$. Los resultados son mostrados en la Figura 3.

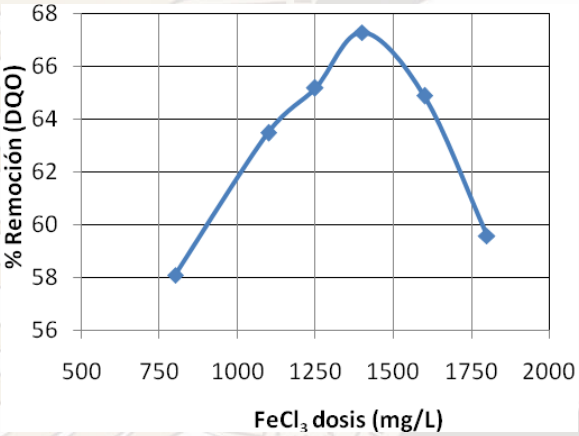


Figura 3. Eficiencias de remoción en DQO a diferentes dosis de $FeCl_3$ y pH 6.

Del gráfico puede verse que con dosis menores de coagulante (1100 mg/L), las eficiencias de remoción en DQO continúan siendo aceptables (alrededor del 63%), valor cercano al máximo alcanzado que en determinado momento justificaría la utilización de un 22% menos de coagulante.

IV. CONCLUSIONES

El proceso de coagulación-floculación aplicado a los lixiviados maduros del SDF de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, demostró ser efectivo en la remoción de carga orgánica medida como DQO cuando se empleó $FeCl_3$ como coagulante, obteniéndose las mejores eficiencias de remoción (67%) a pH 6 y a una dosis de 1.4 gr/L, bajo las condiciones de 250 y 30 rpm de mezcla rápida y lenta, respectivamente.

El $FeSO_4$ utilizado como coagulante en la remoción de materia orgánica recalcitrante, exhibe un comportamiento pobre con apenas 10% en promedio de remoción.

El trabajo demuestra que el proceso de coagulación-floculación puede ser aplicado como un pretratamiento dentro de un sistema integrado de tratamiento para los lixiviados maduros del área de estudio.

V. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas, por las facilidades brindadas para realizar las pruebas experimentales en el Laboratorio de Calidad del Agua.

VI. REFERENCIAS

Amokrane, A., Comel, C., & Veron, J. (1997). Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. *Water Research*. **31(11)**. 2775-82.

Aziz, H., Alias, S., Assari, F., y Adlan M. (2007). The use of alum, ferric chloride and ferrous sulphate as coagulants in removing suspended solids, color and COD from semi-aerobic landfill leachate at controlled pH. *Waste Management & Research*. **25**. 556-565.

Cabeza, A., Urtiaga, A., Rivero, M., & Ortiz, I. (2007). Ammonium removal from landfill leachate by anodic oxidation. *Journal of Hazardous Materials*. **144**. 715-719.

Castillo, B., Salazar, G., Méndez, N., & Sauri, R. (2006). Remoción de metales pesados en el lixiviado de un relleno sanitario mediante un tratamiento fisicoquímico. *XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales.*

Cisneros, P., Ventura, C., Meza, G., Chávez, M., Colado, A., y Castañón, G., (2007). Composición fisicoquímica de los lixiviados generados en el basurero municipal de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Bol. Soc. Quím*. **1**. 39-41.

Deng, Y. (2007). Physical and oxidative removal of organics during Fenton treatment of mature municipal landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*. **146**. 334-340

Deng, Y. (2007b). Physicochemical removal of organic contaminants in municipal landfill leachate. *In: Landfill Research Focus*. Editor: Ernest C. Lehmann pp. 5-26.

Deng, Y., & Englehardt J. (2007). Treatment of landfill leachate by the Fenton process. *Water Research*. **40**. 3683-3694.

Kurniawan, T., Lo, W., y Chan, G. (2006). Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*. B129. 80-100.

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**. 2417-2426.

Lopes, J., y Peralta, P. (2005). Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials*. B123. 181-186.

Luna, Y., Otal, E., Vilches, L., Vale, J., Querol, X., Fernández, C. (2007). Use of zeolitised cal fly ash for landfill leachate treatment: A pilot plant study. *Waste Management*. **27**. 1877-1883.

Méndez, M., Novelo, L., Coronado, P., Castillo, B., & Sauri, R. (2008). Remoción de materia orgánica y metales pesados de lixiviados por flotación con aire disuelto. *Revista Ingeniería*. **12-1**. 13-19.

Monje, R. & Orta, de V. (2004). Removal and transformation of recalcitrant organic matter from stabilized saline landfill leachates by coagulation-ozonation coupling processes. *Water Research*. **38**. 2359-2367.

Nájera, A., Escobar C., y Vera, T. (2007). Diagnóstico ambiental de los SDF de RSU y de ME de las ciudades de Tuxtla Gutiérrez y SCLC. Informe Técnico. PROY-C03-070, CHIS-2005-COCyTECH.

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". 20 de Octubre de 2004.

Orta, de V., Rojas, V., Yáñez, I., Monje, I., & Londoño, J. (2006). Alternativa de tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios en plantas de aguas residuales urbanas. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Vol. 1. Núm.1.

Primo, O., Rueda, A., Rivero, M., y Ortiz I. (2008). An Integrated process, Fenton reaction – ultrafiltration, for the treatment of landfill leachate: Pilot plant operation and analysis. *Ind. Engineering Chemical Research*. **47**. 946-952.

Renou, S., Givaudan, J., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*. **150**. 468-493.

Tizaoui, C., Bouselmi, L., Mansouri, L. & Ghrabi, A. (2007). Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems. *Journal of Hazardous Materials*. **140**. 316-324.

Wang, F., Smith, D., & El-din, M. (2003). Application of advanced oxidation methods for landfill leachate treatment – A review. *Environmental Eng. Sci. 2*: 413.127.

Wiszniowski, J., Robert, D., Gorska, J., Miksch, K., Weber, J. (2006). Landfill leachate treatment methods: A review. *Environ Chem Lett.*

3er encuentro de expertos en
9, 10 y 11 Junio 2010
RESIDUOS SÓLIDOS

10ª SEMANA DEL AMBIENTE
11° FORO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Emisiones Superficiales de Metano en 3 Sitios de Disposición Final de Residuos Sólidos en Yucatán, México.

María Rosa Sauri Riancho, Nicté García Leyva[1], Roger I. Méndez Novelo[2] y Elba R. Castillo Borges[3]
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán.
Mérida, Yucatán, México
email: sriancho@uady.mx

Resumen

Se midieron las emisiones superficiales de metano en tres sitios de disposición de residuos sólidos en Yucatán, México y se calcularon las emisiones totales en estos sitios. Los sitios estudiados fueron: el ex – basurero y el Relleno sanitario de la ciudad de Mérida, y el sitio de disposición de la ciudad de Progreso. El ex - basurero de Mérida fue clausurado a finales de 1997. El relleno sanitario se encuentra en operación desde finales de 1997 y en la actualidad cuenta con un sistema de captación y quema de biogás. El sitio de disposición de Progreso comenzó a operar en el año 2008. El método utilizado para las mediciones superficiales fue el de la cámara cerrada. Se muestrearon gases superficiales en 74, 69 y 12 puntos del ex – basurero municipal de Mérida, del Relleno Sanitario de la ciudad de Mérida y del sitio de disposición de la ciudad de Progreso respectivamente, habiendo obtenido un flujo superficial aritmético promedio de 87.7, 11.4 y 12.3 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$. En las mediciones de metano en el antiguo sitio de disposición final de Mérida también se consideró el flujo de metano proveniente de los 15 pozos de muestreo de residuos sólidos. Para el cálculo de la emisión total de metano se empleó el método del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) obteniendo flujos de 6.3, 268.9 y 78.3 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$ del ex - basurero de Mérida, del Relleno Sanitario de Mérida y del sitio de disposición de la ciudad de Progreso respectivamente.

Palabras Clave – Residuos sólidos, disposición final, emisiones, metano.

Abstract

Methane superficial emissions from 3 different solid waste disposal sites in Yucatan, Mexico, were measured. Total methane emissions from these sites were also calculated. The study sites were: the old disposal site of Merida, the actual landfill of Merida, and the disposal site of the city of Progreso. The old disposal site of Merida was closed at the end of 1997. The landfill of Merida started to operate at the end of 1997 and nowadays it has a system to capture and incinerate biogas. The disposal site of Progreso started to operate in 2008. The closed chamber method was used to measure methane superficial emissions in 74, 69 and 12 sampling points at the old Merida disposal site, the landfill of Merida and the Progreso disposal site respectively. An arithmetic mean flow rate of 87.7, 11.4 and 12.3 g of CH_4 $m^{-2}d^{-1}$ were obtained in these three sites respectively. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) method was used in order to calculate methane total emissions; resulting total methane flow rates were 6.3, 268.9 and 78.3 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$ in the old disposal site of Merida, the actual landfill of Merida and the Progreso disposal site.

Keywords – solid waste, disposal, emissions, methane.

I. INTRODUCCIÓN

Los sitios de disposición final (SDF) de residuos sólidos están reconocidos como fuentes antropogénicas de emisión de metano, el cual es considerado un gas de efecto invernadero. En el estado de Yucatán, durante 2006 se recolectaron en las casas habitación 1’593,204.1 toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU), de los cuales los residuos orgánicos representaban más de un 50%

[1] nicgl@hotmail.com
[2] mnovelo@uady.mx
[3] cborges@uady.mx

de su composición en peso. Asimismo, en Yucatán se utilizan 190.9 ha para la disposición final de los RSU (INEGI 2007); por lo general, la mayoría de estos sitios, con excepción del relleno sanitario de la ciudad de Mérida, operan como basureros a cielo abierto sin ningún control, aunque en la actualidad se procura cumplir con la Norma Oficial NOM-083-SEMARNAT-2003 en la que se proporcionan las "especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial" (SEMARNAT 2004). Esta Norma especifica que en los sitios de disposición se debe garantizar la extracción, captación, conducción y control del biogás generado en el sitio, sin embargo, en Yucatán, esto sólo se realiza en el relleno sanitario de Mérida.

El registro de las emisiones superficiales de metano en los sitios de disposición de residuos sólidos municipales es importante debido a que el metano es considerado un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global y no se cuenta actualmente en el país con datos de campo que cuantifiquen estas emisiones a nivel nacional. Los datos existentes han sido calculados de acuerdo con los procedimientos establecidos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) (IPCC 1996).

Existen algunos modelos matemáticos que permiten la estimación de las cantidades de biogás y particularmente de metano que se emiten en los sitios de disposición final (Scharf y Jacobs, 2006; Mor *et al.,* 2006). Sin embargo, aún cuando los sitios cuenten con sistemas de colección de biogás, una proporción del metano generado se emite a través de la superficie del sitio. Esto puede deberse a sistemas inadecuados de colección de gas, a sistemas de clausura inapropiados y a emisiones incontroladas procedentes de sitios de disposición inapropiados no autorizados (Humer y Lechner, 1999). Se calcula que la cantidad explotable de metano en rellenos sanitarios que cuentan con sistemas de captación es aproximadamente del 70% del total producido (Manna *et al*. 1999). Por esta razón, es importante considerar las cantidades de metano que se emiten por la superficie de los sitios de disposición de residuos.

El objetivo general de este trabajo es establecer las cantidades de metano que se emiten en 3 sitios de disposición final de los residuos sólidos municipales existentes en el estado de Yucatán. Los sitios seleccionados poseen distintas características: un antiguo basurero clausurado hace más de 10 años, un relleno sanitario en operación y un sitio de disposición final tipo D que comenzó a operar a mediados de 2008.

II. METODOLOGÍA

2.1 Sitios de estudio

Ex - basurero Municipal de Mérida, Yuc., México. El terreno del ex - basurero municipal de Mérida está ubicado al noroeste de la Ciudad, en el costado externo del Anillo Periférico; abarca una superficie total de 30 ha y funcionó oficialmente como sitio de disposición final de los residuos sólidos generados en Mérida desde 1979 hasta abril de 1998 en el que fue oficialmente clausurado. Por muchos años el método de operación fue el de quema de los residuos a cielo abierto, pero a partir del comienzo de la década de los 90, esta práctica se desechó. Los residuos depositados fueron principalmente de origen urbano, aunque también se acumularon residuos industriales y sanitarios (González *et al.* 2007). Para el presente estudio, se contó con un área superficial aproximada de 174 291 m^2, en el área en la que se encontraban confinados los residuos sólidos con alturas a nivel del terreno de 4 a 6 m.

Relleno Sanitario de Mérida. El relleno sanitario de Mérida se encuentra ubicado al oeste del centro de Mérida, fuera del Anillo Periférico; este sitio cuenta con una superficie de 190,000 m^2. Inició actividades a finales de 1997 y al final de su vida útil contará con 8 celdas en las que se alojen los residuos (UNFCCC 2008). Al momento del estudio se trabajaba en las celdas 6 y 7 y hasta el año 2007, se tenía un volumen total de residuos acumulados de 2'137 600 toneladas. El sitio

cuenta, además del sistema de manejo de lixiviados, con un sistema de captura y quema del biogás que se implementó en el año 2008. En el momento del estudio, este sistema se abastecía de 2 celdas que tenían la infraestructura para la extracción del gas; las otras 3 celdas terminadas se encontraban en etapa de construcción de la cubierta final que considera la colocación de una geomembrana, una cubierta de material granular denominada sahcab y suelo vegetal, así como la construcción del sistema de captación y conducción del biogás. El sitio tiene forma de pirámide truncada con una altura máxima de 27 m sobre el nivel del terreno en el momento del estudio.

Sitio de disposición final de Progreso, Yucatán. El SDF del municipio de Progreso, Yucatán, se encuentra ubicado a 10 km de la Cd. de Progreso. El predio tiene un área total de 10.4 ha. Se utiliza como SDF desde julio de 2008 y en su primera etapa, al momento del estudio, contaba con una superficie de 3500 m^2 en la que se efectuaba la disposición de los residuos sólidos. El sitio se encuentra impermeabilizado con una geomembrana y se emplea el método de área para su operación, sobre el nivel del terreno. Los residuos se compactan ocasionalmente.

2.2 Planeación del muestreo

Se obtuvieron los planos topográficos de los 3 sitios de estudio, se calcularon las áreas superficiales de los residuos dispuestos en cada sitio y se realizó el cálculo del número de puntos requeridos para la medición de las emisiones de metano. El número de mediciones se obtuvo de acuerdo con la metodología desarrollada por la Agencia Ambiental de Inglaterra y Gales (EA 2004), en la cual se utiliza la ecuación 1, para superficies mayores de 5,000 m^2 y la ecuación 2 para las menores de 5000 m^2.

$$n = 6 + 0.15\sqrt{Z} \qquad \textbf{ecuación 1}$$

$$n = \frac{z}{5000} x16 \qquad \textbf{ecuación 2}$$

Donde ***n*** es el número de mediciones del flujo y ***Z*** es el área del sitio en m^2. En la Tabla 1. se presentan los resultados de los cálculos del número de mediciones necesarias para las 3 zonas de estudio.

Tabla 1. Área superficial y número de mediciones en los sitios de estudio

Sitio	Área superficial (m^2)	Núm. de mediciones
Ex - basurero de la Cd. de Mérida	174,291	69
RS de la Cd. de Mérida	174,270	69
SDF del Mpio. de Progreso	3,500	11

Habiendo obtenido el número de puntos a muestrear para cada sitio de estudio, éstos se distribuyeron en una cuadrícula generada en un sistema de información geográfica, Arc View GIS 3.3, con una dimensión aproximada de 58 x 43 m por cuadrante en el caso del ex - basurero municipal, de 54 x 54 m para el relleno sanitario y de 17 x 17 m en el caso del SDF de Progreso; en estas cuadrículas se ubicaron las coordenadas de los puntos a muestrear, uno por cada cuadrante. Con estos datos se ubicaron los puntos en campo para posteriormente iniciar con las mediciones. En el caso del ex - basurero de la ciudad, la ubicación de los puntos propuestos se modificó debido a la dificultad para llegar a ellos, pero se realizó la lectura dentro de los cuadrantes propuestos.

2.3 Medición de emisiones superficiales

Las mediciones de las emisiones superficiales en los sitios de estudio fueron realizadas con el método de la cámara de flujo cerrado que consiste en un recipiente con un volumen conocido y que posee una salida en la cual se conecta el analizador de gases de campo. El principio se basa en acumular un volumen de gas emitido por la superficie en un determinado tiempo, con el fin de monitorearlo (EA 2004; Abichou *et al.* 2006). La cámara utilizada fue circular, de plástico, con un

volumen de 93.6 L y fue colocada sobre la superficie y sellada con material granular en las orillas para evitar la fuga del gas. Para medir la concentración de metano (% V/V) se utilizó un analizador de gases portátil marca GEM-500.

Para la obtención del flujo de metano se consideró un período de medición de 10 minutos si no se registraba metano y de 15 minutos si este gas era detectado. Las mediciones en cada punto se realizaron a los 1, 2, 5, 7, 9, 12 y 15 minutos respectivamente. El cálculo del flujo se realizó por medio de la ecuación 3 (Abichou *et al.* 2006).

$$F = \frac{PVMU(dC/dt)}{ATR} \qquad \textbf{ecuación 3}$$

Donde ***P*** es la presión (atm), ***V*** es el volumen de la caja (93.6 L), ***M*** es la masa molar del metano (16 g/mol), ***U*** es un factor de conversión de unidades (0.00144 L min μL^{-1} d^{-1}), ***A*** es el área que cubre la caja (0.322 m^2), ***T*** es la temperatura en grados Kelvin y ***R*** es la constate de gas (0.08205 L atm K mol^{-1}). La pendiente obtenida de la relación concentración y tiempo (*dC/dt*), se determina por regresión lineal entre las concentraciones del metano y el tiempo (Abichou *et al.* 2006).

Los criterios para aceptar los flujos obtenidos en cada punto comprenden:

- un coeficiente de determinación (r^2) > 0.8 (debido a que se debe demostrar la asociación entre el tiempo y la concentración acumulada del metano en la cámara cerrada);
- que la gráfica tenga más de cinco lecturas y
- que el cambio de la concentración de metano sea mayor a 0 (EA 2004).

2.4 Cálculo de las emisiones totales de metano

Con el fin de comparar los resultados obtenidos de emisiones superficiales de metano con las cantidades teóricas que se generarían en los SDF estudiados, se utilizó la metodología propuesta por el IPCC. Para la realización de los cálculos se empleó la información existente de las cantidades y composición de los RSU proporcionada por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente de Yucatán (SEDUMA), así como por la compañía que opera el relleno sanitario de Mérida (Loría *et al.* 2008; Sauri *et al.* 2006; Xool 2006). También se utilizaron los valores que emplea la metodología del IPCC por defecto (IPCC 1996).

III. RESULTADOS

3.1 Determinación de las emisiones superficiales de metano.

Los muestreos de emisiones superficiales se realizaron dentro de los cuadrantes propuestos para los tres sitios de estudio, y se ubicaron en el sistema Arc View GIS 3.3, en el cual se indicaron las ubicaciones reales de estos puntos en coordenadas UTM, así como su fecha de muestreo, el flujo de metano obtenido y el coeficiente de determinación de la concentración de metano en un tiempo dado.

Ex - Basurero Municipal de Mérida, Yuc. Para el ex - basurero municipal de Mérida, se realizaron en total 74 mediciones en la superficie, de las cuales 15 se ubicaron sobre las perforaciones realizadas para la extracción de residuos sólidos. En la superficie del sitio existían diversos materiales, tales como residuos finos que constituyen un suelo rico en materia orgánica, vegetación herbácea, zonas con vidrio, material de demolición o bien, no existía capa alguna.

En la Figura 1 se presenta el plano con la ubicación de los puntos en los que se realizaron las mediciones superficiales de flujo de metano. Los puntos ubicados en los sitios perforados se identifican con la palabra "pozo".

En la mayoría de los puntos de muestreo no se encontró metano; sólo 9 puntos presentaron lecturas de metano (lectura mínima = 0.1%). En estos 9 puntos, se procedió a calcular la determinación lineal entre el tiempo y la concentración de metano con el fin de obtener la pendiente.

En la Figura 2 se muestra la ubicación de los puntos y pozos que presentaron metano, el coeficiente de determinación y el flujo de metano calculado. De estos 9 puntos, solo 4 obtuvieron un coeficiente de determinación r^2 mayor a 0.8, de acuer-

do con la metodología de cálculo empleada (EA 2004). En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los puntos que registraron metano. Cabe mencionar que todos los puntos en los que se detectó metano, con excepción de 1, correspondieron a los pozos que fueron perforados para la obtención de muestras de los residuos 15 días antes de la fecha de muestreo de emisiones superficiales. En el punto superficial marcado como E3 sólo se registraron trazas de este gas (concentración de metano < 0.1%).

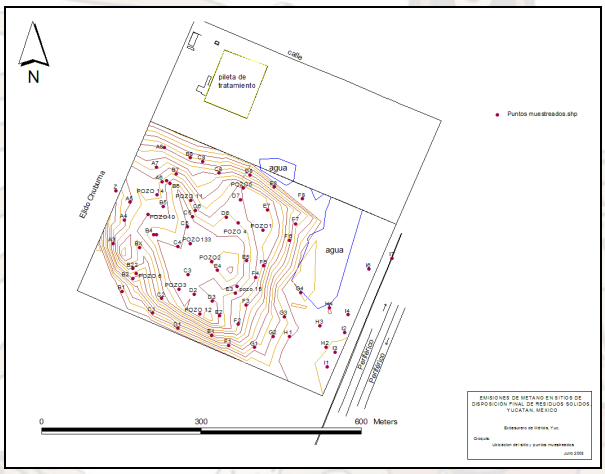


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el ex – basurero de la Cd. de Mérida

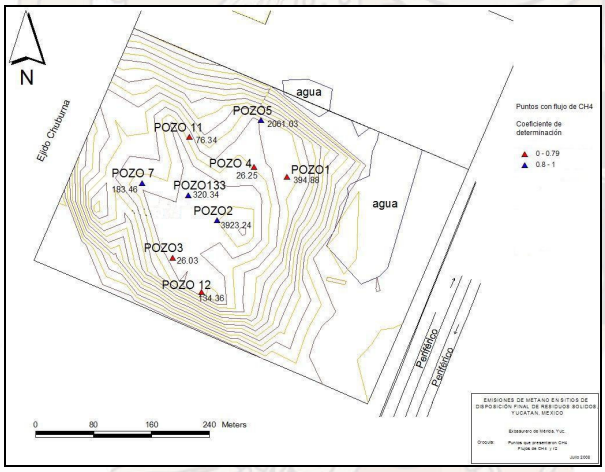


Figura 2. Puntos que presentaron flujo de metano en el ex – basurero de la Cd. de Mérida se movió

Tabla 2. Ubicación, flujo y coeficiente de determinación de los puntos que presentaron metano en el ex - basurero municipal de Mérida

PUNTO	N	E	Q ($g/m^2/d$)	r^2
POZO 8	223924	2329214	Trazas	-
POZO 7	223905	2329113	183.46	0.99
POZO 11	223969	2329177	76.34	0.48
POZO 12	223986	2328964	134.36	0.68
POZO5	224068	2329200	2061.03	0.95
POZO 4	224058	2329135	26.25	0.12
POZO1	224104	2329122	394.88	0.31
POZO2	224008	2329062	3923.24	0.96
POZO3	223946	2329011	26.03	0.21
POZO13	223968	2329097	320.34	0.94
POZO 15	224056	2329015	Trazas	-
E3	224053	2329003	Trazas	-

Para este sito, la edad de residuos es mayor de 10 años y, tomando las condiciones climáticas y meteorológicas (precipitaciones pluviales de 1,006 mm anuales y temperatura máxima de 40°C y mínima de 14°C), las propiedades fisicoquímicas de los residuos y la tecnología aplicada para su clausura, que en este caso fue solo el cierre del sitio, apilando, compactando y cubriendo los residuos, sin considerar pozos de venteo o respiraderos, afectó la cantidad y calidad de las emisiones. Este sitio no presentó emisiones superficiales (sobre la capa de suelo y residuos) solo en un punto se presentaron trazas de metano. Como se muestra en la Tabla 2, las emisiones de metano se localizan en los pozos perforados 7, 5, 2 y 13 con rango de flujo de 183 a 3,923 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$; esto indica que en estos sitios, localizados en los niveles más altos del terreno, se cuenta con una cantidad acumulada de metano. La obtención del flujo superficial total del sitio, se realizó por medio del cálculo de la media aritmética de los flu-

jos obtenidos entre el número total de mediciones. El resultado fue de 87.67 CH_4 m^{-2} d^{-1}.

Relleno Sanitario de Mérida. Para el presente estudio, se realizaron mediciones en 69 puntos. En algunos casos los puntos marcados inicialmente en el plano fueron reubicados debido a que había zonas en las cuales el personal del relleno sanitario estaba compactando los residuos. La ubicación de los puntos de muestreo se muestra en la Figura 3. Las características de la superficie de los puntos de muestreo se muestran en la Tabla 3.

De los 69 sitios de muestreo, sólo 14 de ellos presentaron lecturas de metano, de los cuales sólo 10 cumplieron con los criterios para considerar el cálculo del flujo de metano como válido. Estos puntos se muestran en la Tabla 4 y en la Figura 4.

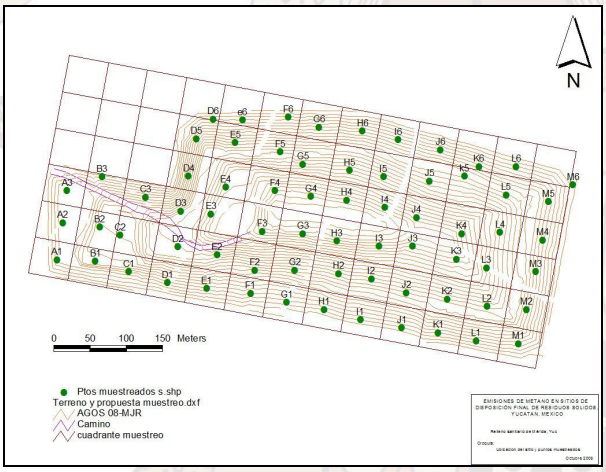


Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo en el relleno sanitario de la Cd. de Mérida

El relleno sanitario de Mérida se encuentra en operación desde hace más de 10 años en los que se han llevado a cabo actividades de compactación de residuos y la colocación de capas de material granular de roca caliza (sahacab) diariamente en todas las celdas. Los puntos que no presentaron emisiones cuentan con una cubierta final consistente en una geomembrana y una capa de material granular y, en algunos casos, vegetación. Entre los puntos que presentaron flujos, 9 de ellos se localizaron en una superficie que todavía no contaba con geomembrana, solo con una capa de material granular (sahacab), dado que, o estaban en la celda en operación, o correspondían a áreas que estaban cubiertas temporalmente, de acuerdo con los programas de crecimiento del sitio. El punto 22I, fue el único que ya se encontraba cubierto con geomembrana y se obtuvo un flujo de metano de 138.38 g m^{-2} d^{-1}, por lo que se considera que en este punto podría existir una fisura por la que se emitía el metano.

La emisión superficial total de metano en el sitio, fue calculada por medio de un promedio aritmético del flujo obtenido entre todos los puntos muestreados, obteniendo como resultado 11.37 g de CH_4m^{-2} d^{-1}.

Tabla 3. Características de las zonas de trabajo y el número de muestras realizadas.

CARACTERISTICAS DE LAS ZONAS DE TRABAJO	No. DE SITIOS MUESTREADOS
Residuos cubiertos con una capa de sahcab (roca caliza no consolidada).	17
Residuos cubiertos con una capa de sahcab y sobre éste geomembrana.	31
Residuos cubiertos con una capa de sahcab; sobre éste geomembrana y nuevamente una capa de sahcab.	9
Residuos cubiertos con una capa de sahcab; sobre éste geomembrana y nuevamente una capa de sahcab. Sobre el material se presentaba vegetación secundaria, conformada por herbáceas.	12

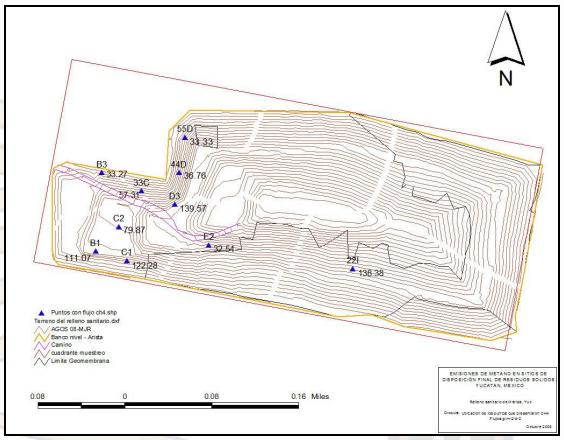


Figura 4. Ubicación de los puntos que presentaron emisiones superficiales de metano en el relleno sanitario de la Cd. de Mérida.

Tabla 4. Flujos de metano calculados en los puntos de muestreo que registraron emisiones en el Relleno Sanitario.

PUNTO	N	E	Q ($g/m^2/d$)	r^2
H4	218243	2321190	Trazas CH_4	-
L4	218454	2321146	Traza CH_4	-
L2	218436	2321044	Traza CH_4	-
C1	217944	2321092	122.28	0.91
B1	217898	2321106	111.07	0.83
E2	218065	2321115	32.54	0.83
B3	217907	2321222	33.27	0.82
D3	218015	2321175	139.57	0.95
C2	217932	2321142	79.87	0.97
22I	218278	2321080	138.38	0.94
44J	218342	2321169	Traza CH_4	-
55D	218030	2321274	33.33	0.80
44D	218021	2321222	36.76	0.82
33C	217966	2321195	57.31	0.96

En las Figuras 5 y 6 se observan las actividades que se realizaron durante la medición de los flujos superficiales de metano en 2 puntos de muestreo con distintos materiales de cubierta. Se observa la cámara fija conectada al instrumento de medición de gases GEM-500. Estos puntos se muestrearon sobre geomembrana que es un material impermeable y sobre una capa de material granular que se encuentran en la parte superior de la capa de residuos sólidos.

SDF de Progreso, Yucatán. En este sitio se tomaron un total de 12 muestras. La superficie del sitio estaba constituida por los mismos residuos dispuestos. Solo se habían cubierto los residuos una vez en los 6 meses que llevaba en operación el sitio. El material de cubierta empleado fue sahacab. En la Figura 7 se muestra la ubicación de los puntos de muestreo y en la Figura 8 se muestran las características de la superficie en la que se realizaron las mediciones de emisiones en este sitio. Puede observarse que las mediciones se efectuaron directamente sobre los residuos.



Figura 5. Medición de CH_4 sobre geomembrana.



Figura 6. Muestreo realizado sobre la superficie intermedia del relleno.

En la Tabla 5 se muestran los sitios de muestreo en los que se registraron lecturas de metano, el coeficiente de determinación y el flujo calculado. De estos 9 puntos solo en 3 se obtuvo un coeficiente de determinación r^2 >0.8. El flujo aritmético promedio de las emisiones superficiales de metano para el SDF de Progreso fue de 12.3 g de CH_4 m^{-2} d^{-1}.



Figura 7. Plano de ubicación de los puntos de muestreo en el SDF de Progreso.



Figura 8. Medición de flujo de CH_4 en la superficie del SDF de Progreso.

Tabla 5. Cálculo de las emisiones superficiales de metano en los puntos de muestreo en el SDF de Progreso.

Punto	N	E	Q ($g\ m^{-2}d^{-1}$)	r^2
2A	221802	2344740	57.1	0.90
3A	221805	2344755	Trazas	-

Tabla 5. Cálculo de las emisiones superficiales de metano en los puntos de muestreo en el SDF de Progreso.

Punto	N	E	Q ($g\ m^{-2}d^{-1}$)	r^2
1B	221782	2344722	42.6	0.63
2B	221785	2344741	114.0	0.07
1C	221761	2344722	45.2	0.82
2C	221764	2344740	45.4	0.90
3C	221768	2344759	Trazas	-
1D	221744	2344726	Trazas	-
3D	221750	2244762	Trazas	-

En la Figura 9 se muestra la ubicación de los puntos que presentaron flujo de metano en el SDF de Progreso.

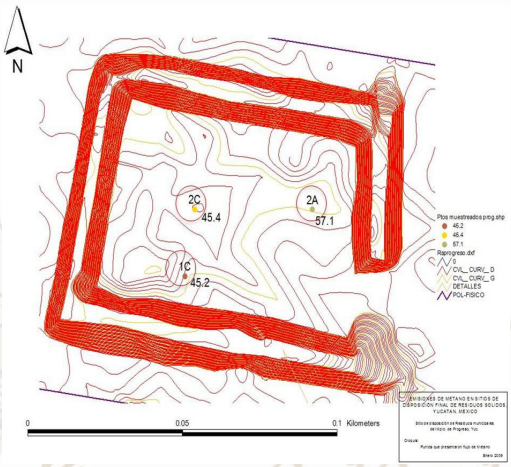


Figura 9. Ubicación de los puntos que presentaron emisiones de metano en el SDF de Progreso

3.2 Cálculo de las emisiones totales de metano.

Para el cálculo de la generación de metano en el Ex – basurero municipal de Mérida se contó con la información existente en el estudio de diagnóstico ambiental del sitio (Loría *et al.* 2008), en el que se calculó un volumen promedio de residuos acumulados de 524 410.0 m^3 y un peso volumétrico promedio de 657 kg/m^3. Se consideró que el sitio operó durante 19 años y se obtuvo un

total anual de RSU de 18.13 Gg para el año 2008. El carbono orgánico degradable (COD) fue calculado con los datos de composición porcentual de subproductos del material que todavía se encuentra en el sitio, el cual se encuentra en un avanzado estado de estabilización (Loría *et al.* 2008). Los subproductos que se consideraron para el cálculo del COD fueron los residuos finos, textiles y la madera (troncos). Para la fracción degradable de carbono no asimilado (COD_F) se utilizó el valor que propone el IPCC por defecto, 0.77, lo mismo que para la fracción de CH_4 en el gas del vertedero que es de 0.5. El cálculo de la generación total bruta anual de metano fue de 0.47 Gg de CH_4. Como no existe algún sistema de recuperación de metano en el sitio, esta cantidad se consideró como el Total Neto Anual.

Para el cálculo de las emisiones de metano en el relleno sanitario de Mérida, se utilizó la información proporcionada por la compañía que opera el sitio, SETASA, y con un reporte técnico en el que se determinó la composición porcentual de los residuos que ingresan al sitio. El factor de corrección de metano (FCM) fue de 1 dado que se considera como un sitio controlado. El total de los RSU depositados en el sitio fue de 213.76 Gg (2008). Los subproductos que se consideraron para el cálculo fueron: residuos de jardinería, residuos de alimentos, residuos sanitarios, cartón, papel, fibra dura vegetal, textiles, madera y fibra natural (Sauri *et al*. 2006). Como en el caso del Ex – Basurero de Mérida, también se utilizaron los valores por defecto propuestos por el IPCC para el cálculo de la COD_F y la fracción de CH_4 en el gas del relleno. El cálculo reportó un total bruto anual de 16.16 Gg de CH_4. No se consideró el sistema de captura de biogás, debido a que éste entró en operación en el año 2008, por lo que el total neto anual estimado de metano generado fue de 16.16 Gg.

Para el SDF de Progreso, Yucatán, se calculó el total anual de RSU con los datos registrados por el municipio durante los 6 meses de operación del sitio, habiendo obtenido 5.2 Gg de RSU. Como FCM se utilizó el valor de 0.4, debido a que en este sitio no existía control alguno y las profundidades de los residuos son menores a 5 m (IPCC 2006). Los datos correspondientes a la composición porcentual de los residuos se obtuvieron de la información oficial (Xool 2006). La fracción del COD se obtuvo considerando los siguientes subproductos: papel y textiles, desechos de jardines y parques y otros desechos orgánicos putrescibles (excluidos los alimentos), residuos de alimentos y desechos de madera y paja (excluido el C de la lignina). Para la COD_F y para la fracción del CH_4 en el gas generado se utilizaron también los valores proporcionados por defecto por el IPCC. El total bruto anual de metano generado, igual al total neto anual, fue de 0.134 Gg de CH_4.

Con el fin de comparar los resultados obtenidos para los totales de metano generados en cada uno de los sitios estudiados con las emisiones superficiales determinadas en campo, aquéllos se expresaron por unidad de área para cada día. En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología del IPCC al cálculo de las emisiones totales de metano en los sitios estudiados y se efectúa una comparación de los flujos superficiales determinados en campo con las cantidades totales generadas estimadas según la metodología empleada.

Los resultados de este trabajo se comparan con los obtenidos en estudios similares, para lo cual se realizó una revisión bibliográfica que se muestra resumida en la Tabla 7. En esta Tabla se muestran las características de los sitios de disposición que se consideran más importantes con fines de comparación. Estas son: la antigüedad (edad) de los residuos, las entradas anuales de los residuos, la superficie que ocupan, el tipo de material de cubierta y la forma en la que se maneja el biogás.

En el caso del ex - basurero de Mérida, se observa que el valor de 87.7 g CH_4 m^{-2} d^{-1} es mayor que los valores encontrados por Abichou *et al.* (2006) y Fourie *et al.* (2004) en sitios similares. Para Abichou *et al.* (2006), el sitio que tenía una edad de los residuos de 7 años con una cubierta de 45 cm, tiene un valor de 22 g CH_4 m^{-2} d^{-1}, mientras que en Fourier *et al.* (2004), el sitio B cuenta con una superficie de 12.8 ha, una edad de

residuos de 10 años y un flujo de 52.7 g CH_4 m^{-2} d^{-1}, mientras que en el sitio C, con una superficie de 14.6 ha, conformada por una capa de arena y pasto y clausurado en 1996, se determinó un flujo de 12.7 g CH_4 m^{-2} d^{-1}; por lo tanto, el flujo obtenido en Ex - basurero es mayor al reportado en la bibliografía, pero se debe considerar que los valores obtenidos en este sitio, provinieron de los pozos que se perforaron durante las actividades de muestreo de los residuos sólidos existentes en el sitio, por lo que se puede aseverar que existía metano acumulado en las capas inferiores de residuos y que todavía se sigue produciendo metano en estas capas. Este gas encontró camino hacia la superficie al momento de realizar la perforación.

Para el Relleno de Mérida se obtuvieron valores que se encuentran entre el rango presentado por Akerman, *et al.* (2007) en el sitio de estudio D, en el cual los residuos tenían una antigüedad de 7 años, pero ese sitio recibe menor cantidad de residuos y tiene una superficie menor, así como un sistema de quema de biogás. El flujo reportado fue de 16.8 g CH_4 m^{-2} d^{-1}. En el relleno de la ciudad Mérida, se obtuvo un flujo de 11.4 g CH_4 m^{-2} d^{-1} el cual es menor que en el referido estudio.

En el SDF de Progreso se observa que el flujo de emisiones superficiales de metano resultó menor que el reportado en uno de los cuadrantes estudiados por Abichou *et al.* (2006), en el cual los residuos contaban con 1 año de antigüedad; la superficie estudiada fue de 0.4 ha y emitía un flujo de 54 g CH_4 m^{-2} d^{-1}; en el caso del SDF de Progreso, se obtuvo un flujo de 12.3 g CH_4 m^{-2} d^{-1}. Considerando que la antigüedad de los residuos es menor a un año y que durante las mediciones en más de la mitad de los puntos muestreados se presentaron valores para el CO_2, se puede explicar que la cantidad de flujo del metano sea menor debido a que durante el primer año de operación de un SDF no se ha establecido plenamente la etapa de anaerobiosis, la cual es necesaria para la generación de metano (Biszek *et al.* 2006). Adicionalmente, la forma de operar el SDF, tampoco proporciona las condiciones que existen en un relleno sanitario en el que los residuos se extienden, compactan y cubren diariamente.

Al comparar los flujos de metano superficiales obtenidos en cada sitio con los totales estimados de metano por la metodología IPCC (Tabla 6), se observa que, para el ex-basurero de Mérida, el flujo superficial es mayor a la cantidad estimada de metano generado. Esto se explica por el hecho de que para el cálculo de las emisiones superficiales se consideraron también las emisiones de los pozos que fueron construidos durante la toma de las muestras de residuos, por lo que estos flujos correspondieron a los gases que estaban atrapados en los residuos y no a los que estaban siendo generados. En los 69 sitios muestreados sobre la superficie intacta del ex – basurero no se detectó metano. Siendo un sitio que fue clausurado hace más de 10 años, se espera que las cantidades generadas de metano sean pequeñas, pero en este estudio no fue posible diferenciar qué proporción del metano correspondía al que quedó atrapado entre los residuos y cuál se continuaba generando. Por lo tanto, no es posible efectuar una comparación entre las cantidades de metano que se siguen generando en el sitio y las que se emiten superficialmente.

En el caso del Relleno Sanitario de Mérida, los cálculos reportan que un 4.2% del metano generado se pierde por la superficie del sitio. Este SDF corresponde a un relleno sanitario construido y operado como tal y que contaba parcialmente con cubierta de geomembranas instaladas en los taludes finales y en 4 celdas de las 8 totales en el momento del estudio, las cuales contaban con la infraestructura para captar el metano y conducirlo hacia un quemador recién instalado, por lo que las cantidades de metano emitidas por la superficie eran pequeñas en comparación con las estimaciones de generación total de este gas.

En el SDF de Progreso, se obtuvo que un 15.7% del metano generado se perdía por la superficie del sitio. Este porcentaje de emisiones se encuentra dentro del rango establecido para las emisiones superficiales por el IPCC (2006).

IV. CONCLUSIONES

En el ex - basurero de Mérida, clausurado en 1998, se encontró metano en los pozos perforados para la extracción de residuos, encontrándose un flujo en el rango de 183 a 3923 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$ y con un flujo promedio del sitio de 87.7 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$, el cual es superior a los flujos superficiales encontrados para sitios similares, aunque el metano estaba siendo emitido a través de pozos que llegaban hasta el fondo del sitio.

Las emisiones superficiales de metano en el relleno sanitario de Mérida, que entró en operación hace más de 10 años, se localizaron en una zona en la cual la superficie contaba con una cubierta de material granular (sahcab), presentando flujos superficiales que fluctuaron entre 32.5 y 139.6 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$. El flujo aritmético de metano emitido por la superficie del sitio fue de 11.4 g $CH_4m^{-2}d^{-1}$.

En el SDF más reciente, el SDF de Progreso, se determinaron flujos superficiales de metano en un rango de 45.4 a 57.1 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$. La media aritmética de los flujos superficiales de metano fue de 12.3 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$.

Al aplicar la metodología establecida por el IPCC para el cálculo del metano generado en los sitios de disposición final estudiados se obtuvieron los siguientes resultados: 6.3 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$ para el Ex – basurero de Mérida, 268.9 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$ para el relleno sanitario de Mérida y 78.3 CH_4 $m^{-2}d^{-1}$ para el SDF de Progreso, Yucatán.

Al comparar los resultados entre las estimaciones de metano generado en cada sitio con respecto a los flujos de metano superficial determinados en campo se obtuvo que un 4.6% del metano total generado por el relleno sanitario de Mérida se perdía por la superficie, mientras que para el SDF de Progreso se obtuvo un 15.7% . El flujo de metano determinado en el Ex – basurero de Mérida no fue superficial, correspondía al que se escapaba por los pozos de monitoreo de residuos recién construidos.

Tabla 6. Comparación de las emisiones superficiales y totales de metano para el Ex – basurero y el Relleno Sanitario de Mérida y el SDF de Progreso, Yucatán

Sitio	Superficie (m^2)	Total anual de RSU depositados (Gg)	Emisiones superficiales de metano ($gCH_4m^{-2}d^{-1}$)	Total de metano generado (IPCC 1996) ($gCH_4m^{-2}d^{-1}$)	Comparación de las emisiones superficiales con la estimación del total de metano generado (%)
Ex - basurero	174200	18.1	87.7*	6.3	-
Relleno Sanitario	174200	213.8	11.4	268.9	4.2
SDF de Progreso	3500	5.3	12.3	78.3	15.7

*El flujo que se reporta proviene de los pozos de muestreo que fueron perforados en el sitio. No se registraron emisiones en los otros puntos.

Tabla 7. Flujos de metano y características de estudios realizados en sitios de disposición

Ref./ Sitio	Edad de los residuos (años)	Entradas anuales de residuos (ktons)	Superficie (ha)	Material de cubierta	Manejo de biogás	Flujo ($g\ CH_4\ m^{-2}\ d^{-1}$)
Åkerman *et al.* (2007):						
Sitio A UK	0 - 40	515	110	Arcilla (1m) y geomembrana	Dos turbinas de gas y una turbina de vapor	2.04
Sitio B UK	4 - 24	220	13	Suelo compactado (1-2 m) y vegetación	Dos turbinas de gas, cada una de 1 MW	0.24
Sitio C UK	1 - 7	185	8	Cenizas de incinerador (1 m) y arcilla o piedra caliza (0.3m)	2 quemadores (2000 et 500 m^3/h)	10.7
Sitio D UK	1 - 7	130	8	Arcilla (0.5 – 0.7 m)	1 quemador (2000 m^3/h)	16.8
Sitio E UK	1 - 38	80	15	Arcilla (0.5 - 1m) + suelo	1 quemador (2000 m^3/h)	6.5
Abichou *et al.* (2006)						

Tabla 7. Flujos de metano y características de estudios realizados en sitios de disposición

Ref./ Sitio	Edad de los resi-duos (años)	Entra-das anuales de resi-duos (ktons)	Super-ficie (ha)	Material de cubierta	Manejo de biogás	Flujo (g CH_4 m^{-2} d^{-1})
Flori-da, USA	1	—	64*	Cubierta intermedia de 15 cm de espesor sin vegetación (arcilla are-nosa)	—	54
Flori-da, USA	7	—	60.8*	Cubierta intermedia de 45 cm de espesor con vegetación (arcilla are-nosa y suelo arenoso)	—	22
Fourie A.B et al (2004)						
Sitio A	13	360	7.7	Grava arena arcillosa	-	32.8
Sitio B	10	396	12.8	Grava arena, limo arcil-loso	-	52.7
Sitio C	1996 clausu-rado	Desco-nocido	14.6	Arena (0.10-0.20 m)+pasto	-	12.7
Sitio D	1-50	3-4.5 millones m^3	12.4	Arena arcillosa limosa	-	15.7
Este estudio						
Ex - basure-ro	1-10 clausu-rado	147	17.42	Material arcilloso+veg. herbacea	-	87.7
Relleno sanita-rio	1-10	214	17.42	Caliza no consolidada (sahcab); sahcab y geo-membrana; sahcab, geomembrana y cubierta vegetal	1 quemador	11.4
SDF de Progre-so	< 1	5	0.3	Sin cubierta		12.3

En el SDF más reciente, el SDF de Progreso, se determinaron flujos superficiales de metano en un rango de 45.4 a 57.1 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$. La media aritmética de los flujos superficiales de metano fue de 12.3 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$.

Al aplicar la metodología establecida por el IPCC para el cálculo del metano generado en los sitios

de disposición final estudiados se obtuvieron los siguientes resultados: 6.3 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$ para el Ex – basurero de Mérida, 268.9 g de CH_4 $m^{-2}d^{-1}$ para el relleno sanitario de Mérida y 78.3 CH_4 $m^{-2}d^{-1}$ para el SDF de Progreso, Yucatán.

Al comparar los resultados entre las estimaciones de metano generado en cada sitio con respecto a los flujos de metano superficial determinados en campo se obtuvo que un 4.6% del metano total generado por el relleno sanitario de Mérida se perdía por la superficie, mientras que para el SDF de Progreso se obtuvo un 15.7% . El flujo de metano determinado en el Ex – basurero de Mérida no fue superficial, correspondía al que se escapaba por los pozos de monitoreo de residuos recién construidos.

V. RECONOCIMIENTOS

A Servicios de Tecnología Ambiental, S. A. (SETASA), compañía operadora del Relleno Sanitario de Mérida, Yucatán, México, por todas las facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

A la Secretaría de Obras Públicas y a la Secretaría de Desarrollo Urbano del Gobierno del Estado de Yucatán, por el apoyo brindado para la realización de este estudio en el ex – basurero de Mérida, Yuc., México.

A las Autoridades Municipales de Progreso, Yucatán por el interés demostrado en la realización de este estudio.

VI. REFERENCIAS

Akerman A., Budka A., Hayward-Higham S., Bour, O., Rallu D. (2007). Methane emissions measurements on different landfills. Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italia.

Abichou T., Chanton J. Powelson D., Fleiger J., Escoriaza S., Lei Y., Stern J. (2006). Methane flux and oxidation at two types of intermediate landfill covers. Waste Management. Vol. 26, No. 11, pp. 1305-1312.

Biszek M., Pawlowska M., Czerwiski J. (2006). Evaluation of Measurement Methods and Estimation of Biogas Emission from Landfills. Lublin University of Technology. Disponible en: http://wbiis.tu.koszalin.pl/towarzystwo/2006/02biszek_t.pdf , Recuperado 16 de Febrero 2009.

EA, Environment Agency (2004). Guidance on monitoring landfill gas surface emissions. LFTGN 07. Landfill Directive. September 2004, UK.

Fourie A.B, Morris J.W (2004). Measured gas emissions from four landfills in South Africa and some implications for landfill design and methane recovery in semi-arid climates." Waste Management & Research", Vol. 22, pp. 440-453.

González R., Rodríguez R., Coronado V. (2007). Atenuación natural en el acuífero yucateco. Revista Internacional de Contaminación Ambiental., 23(001), 5-15.

Humer M., Lechner P. (1999). Alternative approach to the elimination of greenhouse gases from old landfills. Waste Management & Research. Vol. 17, No. 6, pp. 443-452.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2007). Anuarios Estadísticos, Yucatán, 1995 al 2007. Disponible en: http://www.inegi.gob.mx/lib/buscador/busqueda.aspx?s=prod_serv&textoBus=anuario%20estadistico%20YUCATAN&i=&e=&seccionBus=bd Recuperado 27 de marzo de 2008.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2008). Anuarios Estadísticos, Yucatán, 1995 al 2007. Disponible en: http://www.inegi.gob.mx/lib/buscador/busqueda.aspx?s=prod_serv&textoBus=anuario%20estadistico%20YUCATAN&i=&e=&seccionBus=bd Recuperado 27 de marzo de 2008.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (1996). Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Libro de Trabajo, Volumen 2, Reino Unido.

Loría A.J, Giácoman V.G., Graniel C.E., Ponce C.C., Sánchez y P.I., Sauri R.M.R. (2008). Diagnóstico Ambiental del Área del Ex-Basurero a Cielo Abierto de la Ciudad de Mérida, Yucatán. Informe Final. Noviembre, 2008.

Manna L., Anetti M.C., And Genon G. (1999). Modelling biogas production at landfill site. Resources, Conservation and Recycling. 26, pp. 1-14.

Mor S., Ravindra K., De Visscher A., Dahiya R.P., Chandra A. (2006). Municipal solid waste characterization and its

assessment for potential methane generation: A case study. Science of the Total Environment. 371, pp. 1-10.

Scharf H. and Jacobs J. (2006). Applying guidance for methane emission estimation for landfills. Waste Management. 26, pp. 417-429.

Sauri R.M.R., Pacheco A.J.G., Castillo B.E.R., Reza B.G., Garrido V.P.G., Ramírez H.J.G. (2006). Caracterización de los residuos que ingresan al Relleno Sanitario de Mérida, Yucatán. Informe Técnico Final. Diciembre, 2006.

SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2004). Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 Especificaciones de selección del sitio, el diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, publicada en el Diario Oficial el 20 de octubre del 2004, México.

SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2007). Cambio Climático. En "Estrategia Nacional de Cambio Climático. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático", Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, México D.F., 19-39. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/estrategia.aspx. Recuperado el 8 de febrero de 2008.

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change (2008). Project 1371: Proactiva Mérida Landfill Gas Capture and Flaring project. Disponible en:http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1191330441.32/view. Recuperado 24 de noviembre de 2008.

Xool M.J. (2006). Situación actual y propuesta de un sistema alternativo para la problemática de residuos sólidos urbanos del municipio de Progreso, Yucatán. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Mérida, México.

Presentación

Antecedentes

Extensos

Sede

Contacto

7. Consideraciones ambientales.

- Emisión de gases efecto invernadero, características de planta y rendimiento de frijol cultivado en suelo fertilizado con Biosólido.
- Vulnerabilidad social y ambiental por el manejo de llantas de desecho en la ciudad de Mexicali.
- El fenómeno de los residuos sólidos.

3er encuentro de expertos en RESIDUOS SÓLIDOS 9, 10 y 11 Junio 2010

Emisión de gases efecto invernadero, características de planta y rendimiento de frijol cultivado en suelo fertilizado con Biosólido

Fabián Fernández-Luqueño [a] y Luc Dendooven [b]
[a] Ingeniería en Energías Renovables, Universidad Tecnológica de Tulancingo, Hidalgo, México. C.P. 43642 México. email: cinves.cp.cha.luqueno@gmail.com
[b] Laboratorio de Ecología de Suelos, Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, CINVESTAV, México D.F. C.P. 07360, México. email: dendoove@cinvestav.mx

Resumen

El biosólido podría fácilmente ser empleado para fertilizar cultivos, especialmente después de vermicompostearlo para reducir patógenos. Hasta la fecha aún se desconoce cómo el biosólido o la vermicomposta de biosólido afectan el crecimiento del cultivo de frijol y la emisión de gases efecto invernadero. En este estudio se investigó el efecto de diferentes fertilizantes nitrogenados sobre las características de planta del frijol, la emisión de gases efecto invernadero y el rendimiento. Las plantas de frijol fueron cultivadas en invernadero, fertilizadas con o sin biosólido, vermicomposta de biosólido o urea mientras las características de planta, la emisión de gases efecto invernadero y el rendimiento fueron monitoreados. El rendimiento de plantas cultivadas en suelo sin fertilizar o fertilizadas con urea fue más bajo que el de las plantas fertilizadas con biosólido. La aplicación de vermicomposta de biosólido mejoró el desarrollo de la planta e incrementó el rendimiento comparado con plantas fertilizadas con biosólido. La emisión de CO_2 fue afectada por el estado fenológico de la planta mientras que la adición de vermicomposta de biosólido o biosólido incrementó la emisión de CO_2 comparado con suelo fertilizado con urea o suelo sin fertilizar. La emisión de N_2O del suelo fue más importante en los primeros días del cultivo de frijol en el orden de biosólido (55 Mg ha^{-1}) > vermicomposta > biosólido (33 Mg ha^{-1}) > suelo fertilizado con urea > suelo sin fertilizar. Se encontró que la aplicación de biosólido, incluso más que la aplicación de vermicomposta, mejoró el crecimiento y rendimiento de plantas de frijol comparado con las plantas cultivadas en suelo sin fertilizar o fertilizado con urea.

Palabras Clave – Biosólido, Rendimiento, Emisión de gases efecto invernadero, Frijol.

Abstract

Wastewater sludge could easily be used to fertilize crops, especially after vermicomposting, i.e. composting with earthworms to reduce pathogens. How wastewater sludge or vermicompost affect bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth and the emission of CO_2 and N_2O are still largely unknown. In this study the effect of different forms of N fertilizer on common bean plant characteristics, greenhouse gases emission and, yield were investigated. Beans were cultivated in the greenhouse, fertilized with or without wastewater sludge, wastewater sludge derived vermicompost or urea, while plant characteristics, greenhouse gases emission and, yield were monitored. Yields of common bean plants cultivated in unamended soil or soil amended with urea were lower than those cultivated in wastewater sludge-amended soil. Application of vermicompost further improved plant development and increased yield compared to beans cultivated in wastewater amended soil. CO_2 emission was affected by phenological stage of the plant, and addition of vermicompost or wastewater sludge to soil increased CO_2 emission compared to the urea-amended and unamended soil. N_2O emissions from soil was most important within the first days of the cultivation of the beans and in the order of wastewater sludge at 55 Mg ha^{-1} > vermicompost > wastewater sludge at 33 Mg ha^{-1} > urea-amended soil > unamended soil. It was found that application of wastewater sludge, and even more so vermicompost, improved growth and yield of bean plants compared to those cultivated in unfertilized or urea amended soil.

Keywords – Wastewater sludge, Yield, Greenhouse gases emission, Common bean.

I. INTRODUCCIÓN

El biosólidos se origina del tratamiento de aguas residuales y contiene gran cantidad de nutrientes y materiales orgánicos, por lo que cada vez es mas empleado para mejorar la fertilidad de los suelos o para restaurar suelos degradados aún cuando éste también pudiera contener metales pesados, patógenos o contaminantes orgánicos (Harrison *et al*., 2006), por lo que el composteo o vermicomposteo de biosólidos han sido propuestos como medio para reducir los patógenos, metales pesados o contaminantes orgánicos y obtener un sustrato rico en nutrientes. Se estima que un 37% del biosólido producido en todo el mundo es empleado en la agricultura, mientras que solo el 12% se emplea en la forestería, silvicultura y recuperación de suelos (Fytili y Zabaniotou, 2008). Ha sido mostrado que el biosólido incrementa significativamente el rendimiento en grano de frijol (Yuruk y Bozkurt, 2006; Togay *et al*., 2008) y que la vermicomposta de biosólido es un fertilizante de buena calidad (Khwairakpan y Bhargava, 2009; Fernández-Luqueño *et al*., 2010) porque ésta aporta nutrientes a la planta e incrementa el rendimiento (Cordovil *et al*., 2007).

Los gases efecto invernadero son: el vapor de agua, el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y los clorofluorocarburos (CFC). A excepción de los CFC, todos estos gases existen de manera natural; es decir forman parte del metabolismo de algunos de los seres vivos. Los GEI representan menos del 1% de la atmósfera. En ausencia de estos gases, la temperatura promedio del planeta sería de -18°C en lugar de 15°C, y en estas condiciones sería poco probable la existencia de la vida humana. Sin embargo la concentración de los gases de efecto invernadero ha incrementado y por consiguiente la absorción de las radiaciones infrarrojas ha aumentado. Los gases más importantes producidos biológicamente en los cuales interviene el suelo son: dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. Principalmente el incremento de la concentración de estos gases en la atmósfera es debido a actividades antropogénicas y comenzó su aumento de manera casi exponencial desde el año 1750 cuando inició la era industrial. Un efecto de los GEI es la reducción de la capa de ozono en la estratosfera y diversos trastornos ambientales. Se considera que México contribuye con el 1.5% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007). Con base en lo reportado por el IPCC (2007), la concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera ha aumentado de 280 ppm en 1750 a 367 ppm en 1999. Unas tres cuartas partes de las emisiones antropogénicas de CO_2 en la atmósfera durante los últimos 20 años se deben a la quema de combustible de origen fósil. El resto se debe principalmente a cambios en el uso del suelo, especialmente la deforestación. Los océanos y la Tierra actualmente captan juntos la mitad de las emisiones antropogénicas de CO_2 pero la otra mitad se esta acumulando en la atmósfera. En la Tierra, la absorción de CO_2 antropogénico muy probablemente superó las emisiones de CO_2 a causa de la deforestación en los años noventa. El CO_2 tiene un tiempo de vida media en la atmósfera de 5 a 200 años. Biológicamente, el metano es el único hidrocarburo que se produce en grandes cantidades mediante actividad microbiana por medio de la metanogénesis y es metabolizado por microorganismos que con frecuencia son inactivos sobre moléculas de hidrocarburos más grandes por metanotrofía. La concentración de metano en la atmósfera ha aumentado en niveles de 0.8% por año. Actualmente, poco más de la mitad de las emisiones de CH_4 son antropogénicas, por ejemplo, la utilización de combustible de origen fósil, la ganadería, el cultivo de arroz y los rellenos sanitarios son fuente importante de CH_4. El tiempo de vida media del metano en la atmósfera es de 12 años. El óxido nitroso es un intermediario obligado de los procesos de nitrificación y desnitrificación. Sin embargo, la principal fuente de óxido nitroso es el proceso de desnitrificación. La concentración de N_2O en la atmósfera es muy baja (0.3 partes por millón) y se incrementan en un rango de 0.25 por ciento anual. En nuestros días aproximadamente un tercio de las emisiones de N_2O son por actividad antropogénicas, por ejemplo, el cambio de uso de suelo, la ganaderías, las

industrias químicas, el uso de fertilizantes nitrogenados, etc. El tiempo de vida media en la atmósfera del N_2O es de 114 años (IPCC, 2007).

En México, el cultivo de frijol es una tradición cultural que tiene gran impacto económico y social en ciertas regiones. Se estima que en la actualidad, en el territorio nacional, se siembran 2.22 millones de ha con 20 variedades y 50 criollas; no obstante, México tiene un rendimiento promedio de 0.629 t ha^{-1} (Ortega y Ochoa, 2003). El frijol, junto con el maíz y la calabaza, es uno de los cultivos más antiguos del nuevo mundo. Además, es extremadamente diverso en cuanto a métodos de cultivo, usos, ambiente al que se adaptan y variabilidad morfológica. Sin duda, el frijol es la leguminosa de grano más consumida en todo el mundo (Araya, 2003). La producción mundial de este cultivo excede los 25 millones de toneladas, de las cuales 8 son cultivadas en Latinoamérica y África. La producción de frijol es casi dos veces más grande que la de garbanzo, la segunda leguminosa de grano más importante (Broughton *et al*., 2003).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo empleado se colectó en Otumba, Estado de México (19º 42` LN y 98º 49` LO) a una altitud de 2349 m. El suelo se muestreó aleatoriamente en tres parcelas de ±0.5 ha, a una profundidad de 0-15 cm. Entre 15 y 20 muestras de cada parcela fueron mezcladas de tal modo que al final obtuvimos tres muestras compuestas. El experimento se realizó en invernadero, durante tres ciclos agrícolas consecutivos. La semilla de frijol, Negro-8025, fue proporcionada por la Universidad Autónoma Chapingo. La siembra y las determinaciones se realizaron con base en las técnicas descritas por Fernández-Luqueño *et al*. (2008). El proceso de vermicomposteo se realizó con base en la técnica de Contreras-Ramos *et al*. (2005). Cuarenta y cinco submuestras de 3.25 kg de suelo i.e. tres muestras de suelo X tres réplicas X cinco tratamientos, fueron adicionados a tubos de PVC (50 cm de longitud y 16 cm de diámetro) con 7 cm de grava al fundo y 3 cm de arena sobre ésta. Los tratamientos empleados se describen en la Tabla 1. El suelo tratado fue adicionado en la parte superior de la columna de tal modo que 15 cm de suelo sin tratar quedaron en el fondo de la columna, mientras que 15 cm de suelo tratado quedaron en la parte superior de la columna.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos.

Trat.[†]	Material adicionado
UREA[£]	150 kg de urea ha^{-1}; i.e., 80 kg N ha^{-1}
↑BIO	41 Ton de biosólido ha^{-1} ; i.e., 80 kg N ha^{-1}
↓BIO	25 Ton de biosólido ha^{-1} ; i.e., 48 kg N ha^{-1}
VER	16 Ton de VC[‡] ha^{-1} ; i.e., 80 kg N ha^{-1}
CTL	Suelo solo

[†] Tratamientos; [£] El suelo empleado contenía 67 kg de N ha^{-1}.
[‡] Vermicomposta de biosólido.

Ciento treinta y cinco columnas en total i.e. tres suelos X tres fechas de muestreos destructivos X tres réplicas X cinco tratamiento, fueron sembradas con 3 semillas de frijol colocadas a tres cm de profundidad. Dieciocho días después de la siembra las plántulas fueron raleadas de tal modo que únicamente la plántula con mejores características fue conservada, cada semana las columnas fueron regadas con 500 ml de agua potable, mientras que cada dos días se determinaron las unidades SPAD de tres hojas por planta seleccionadas aleatoriamente.

El experimento duró 117 días (de la siembra a la cosecha) y todo completo fue repetido tres veces, la primera repetición fue del 23 de septiembre de 2007 al 17 de enero de 2008, la segunda del 30 de septiembre de 2007 al 24 de enero de 2008 y la tercera repetición fue del 7 de octubre de 2007 al 31 de enero de 2008. En todas las repeticiones se aplicó la misma cantidad de agua, la cual fue bien controlada para evitar lixiviados.

A los 30, 60 y 117 días después de la siembra tres tubos de PVC fueron seleccionados aleatoriamente de cada tratamiento y de cada suelo. La columna de suelo fue removida por completo separando el suelo de 0 a 15 y de 15 a 30 cm de profundidad por cada columna y cuidando que las raíces no sufrieran daño o perdieran nódulos. Cada capa de suelo (0-15 y 15-30 cm) de cada columna fue analizada para pH, conductividad eléctrica (CE), NO_3^-, NO_2^- y NH_4^+. Las raíces fueron separadas de la parte aérea y se les determinó el número de nódulos activos y totales, el peso fresco, y longi-

tud, luego, fueron secadas a 70º C y se obtuvo su peso seco y se les determinó N total, mientras que las emisiones de CO_2 y N_2O fueron determinadas cada dos días. Cuando las plantas alcanzaron la madurez comercial (117 días) se obtuvo el peso fresco y seco de la parte aérea y raíz, su longitud, el número de vainas y el número de semillas por planta. Todas las determinaciones químicas de suelo y planta, así como la determinación de gases efecto invernadero se realizaron con base en las metodologías reportadas por Fernández-Luqueño *et al*. (2009).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las unidades SPAD, las cuales reflejan el contenido de clorofila, incrementaron constantemente conforme el cultivo creció, observándose el máximo entre los 60 y 80 días después de la siembra porque posteriormente disminuyó. El contenido médio de clorofila en plantas de frijol fertilizadas con biosólido fue mayor que las fertilizadas con urea y el control, pero menor que las plantas fertilizadas com vermicomposta de biosólido (Figura 1). Datos similares fueron reportados en el cultivo de pasto (*Lolium perenne* L.) por Cheng *et al*. (2007).

Varias características de planta y componentes de rendimiento no fueron significativamente diferentes entre el tratamiento con urea y el control (Tabla 2). El número de nódulos activos y totales en el tratamiento control fue mayor que en los otros tratamientos. La adición de vermicomposta mejoró todas lãs características de la planta comparada com los otros tratamientos, pero disminuyó el número de nódulos activos y totales. Las características de planta y los componentes de rendimiento mejoraron en el siguiente orden CTL<UREA<↓BIO<↑BIO<VER (Figura 2).

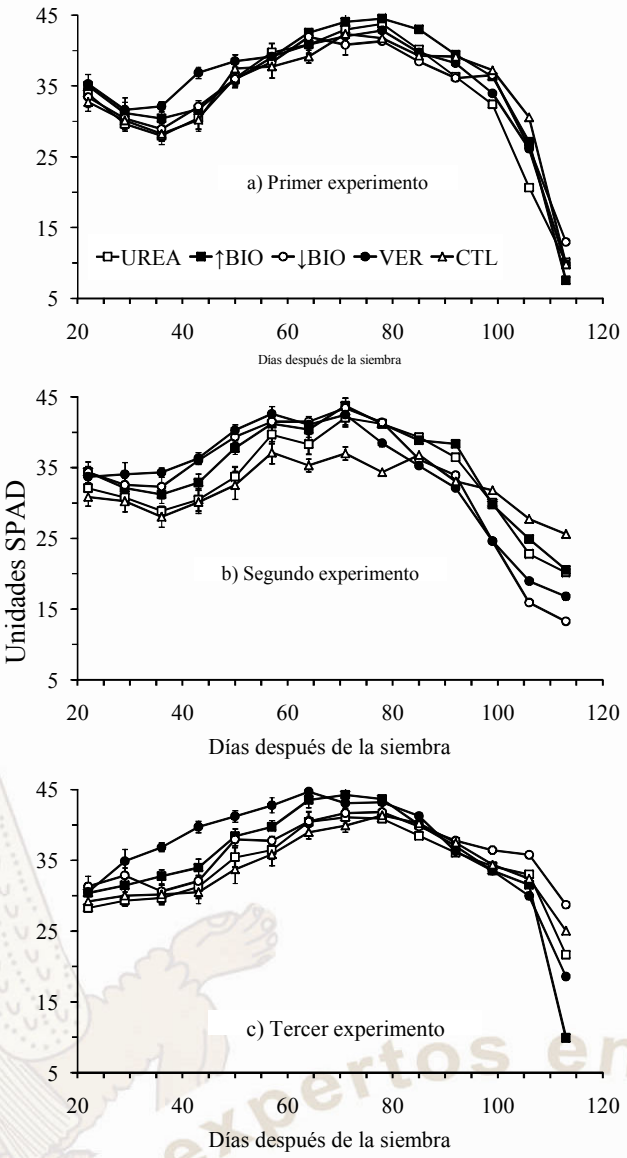


Figura 1. Unidades SPAD medidas en hojas de planta de frijol cultivadas en invernadero

Tabla 2. Algunas características de la planta de frijol asociadas al rendimiento.

Variables	Tratamientos				
	UREA	↑BIO	↓BIO	VER	CTL
NTN [∞]	77 b [&]	96 ab	117 a	73 b	117 a
NNA [§]	52 ab	54 ab	71 ab	46 b	84 a
NV [¥]	19 ab	20 a	23 a	23 a	14 b
R(g) [α]	5 bc	6 ab	6 ab	7 a	3 c
R(Ha) [λ]	0.8 bc	0.9 ab	0.9 ab	1.0 a	0.5 c
NS [‡]	57 bc	74 ab	73 ab	88 a	40 c

[∞] Número total de nódulos; [&] Diferente letra en la misma fila indica diferencia significativa; [§] Número de nódulos activos; [¥] Número de vainas; [α] Rendimiento (g planta^{-1}); [λ] Rendimiento, considerando 150000 plantas ha^{-1}; [‡] Número de semillas planta^{-1}.

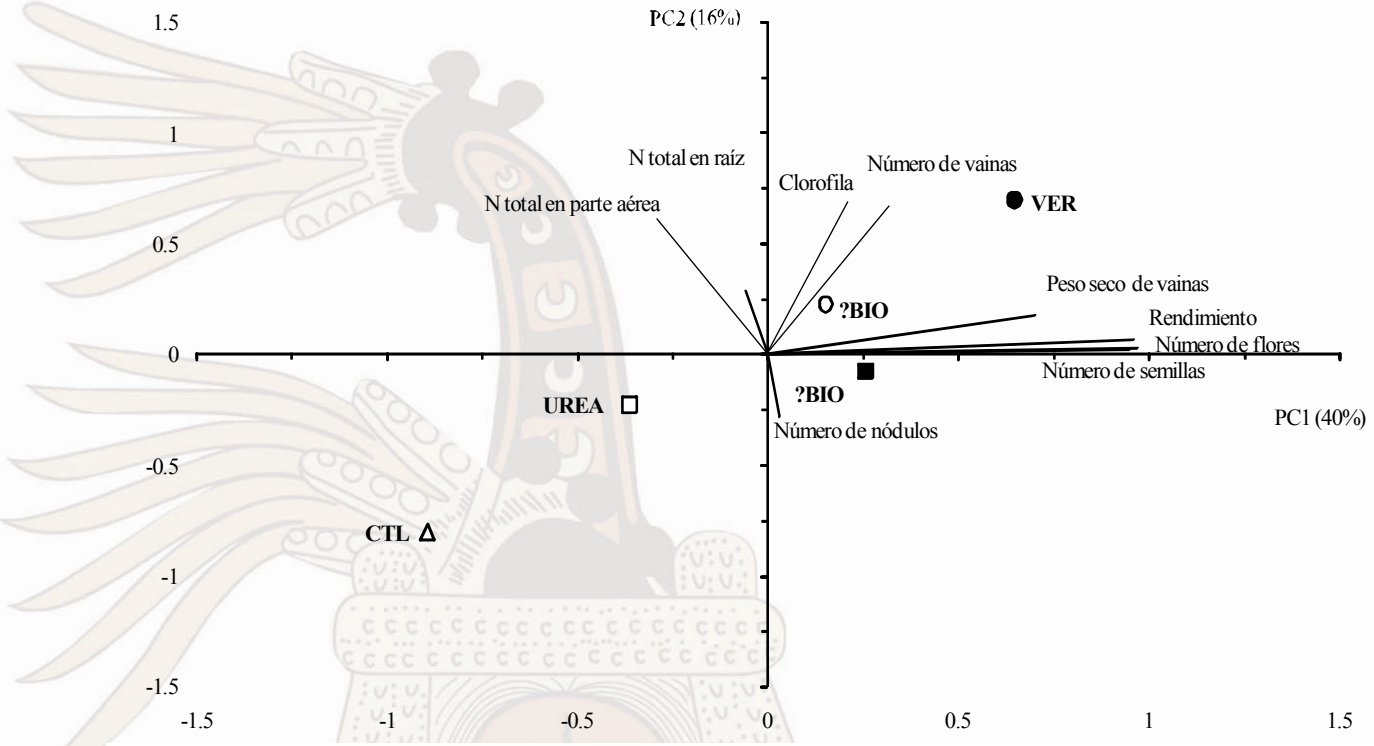


Figura 2. Análisis de componentes principales de las características de planta y componentes de rendimiento de frijol cultiva en suelo agrícola en condiciones de invernadero.

El número que se encontró en las plantas de frijol es altamente variable. Fernández-Luqueño *et al*. (2008) reportó más de 300 nódulos por planta en dos cultivares de frijol común, mientras que Montes-Molina *et al*. (2008) encontró sólo 38 nódulos por planta. Es conocido que el número de nódulos de la raíz de frijol depende principalmente de las características del suelo y de la compatibilidad y eficiencia entre rhizobia y la planta de frijol (Amarger, 2001).

Las plantas del tratamiento control tuvieron el mayor número de nódulos activos y totales, 117 y 84 respectivamente, pero solo 77 y 52 fueron encontrados en el suelo fertilizado con urea, mientras que apenas 72 y 46 nódulos se contabilizaron en el tratamiento de vermicomposta de biosólido. En el tratamiento control y en el fertilizado con biosólido en dosis baja los rhizobia autóctonos fueron capaces de nodular eficientemente raíces del cultivo de frijol debido a que la simbiosis no fue inhibida por el nitrógeno inorgánico del suelo. Se ha reportado que grandes cantidades de nitrato y amonio disminuyen la formación de nódulos en las leguminosas. Dasilva *et al*. (1993) reportó que tanto en fertilizaciones foliares como al suelo, la adición de nitrógeno a plantas leguminosas en altas dosis inhibe la nodulación.

La adición de fertilizante orgánico o inorgánico mejora las características de la planta e incrementa el rendimiento comparado con suelo sin fertilizar. Se ha reportado que aún dosis bajas de fertilizante nitrogenado (50 kg urea ha^{-1}) incrementa el rendimiento en grano y el rendimiento de materia seca de frijol común, comparado con suelo sin fertilizar (Daba y Haile, 2000).

El inicio de la floración, así como el inicio del llenado de la vaina también fueron afectados por la adición de biosólido (Figura 3).

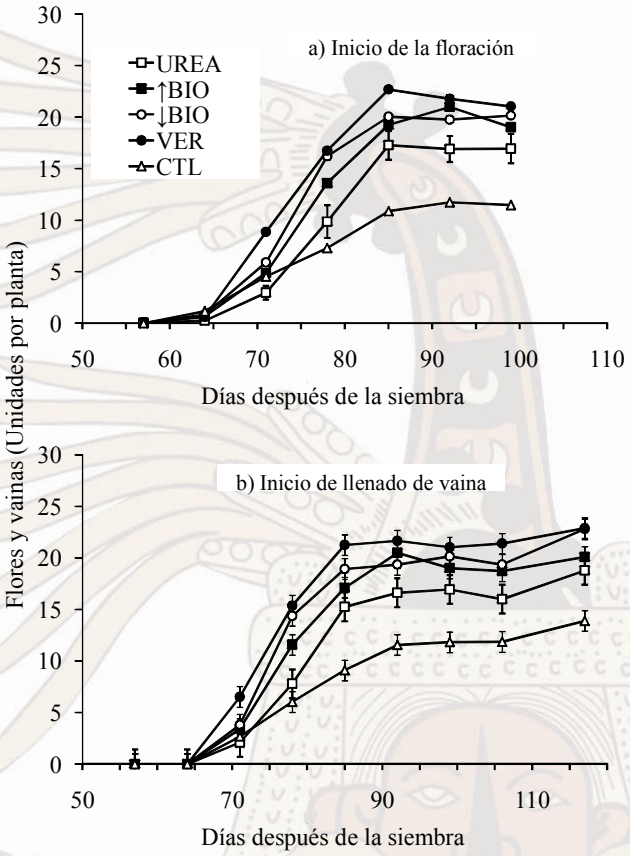


Figura 3. Número de flores y vainas de frijol cultivado en condiciones de invernadero.

Al inicio del experimento y hasta los primeros 15 días grandes cantidades de CO_2 fueron emitidas por el suelo, entre el día 15 y 30 las emisiones fueron pequeñas pero más tarde las emisiones nuevamente incrementaron (Figura 4). La aplicación de urea no tuvo efecto significativo comparado con el tratamiento control (0.043 mg C kg^{-1} de suelo seco), pero si al compararse con el tratamiento al que se le adicionó biosólido (0.064 mg C kg^{-1} de suelo seco), aunque la mayor emisión se presentó en el tratamiento adicionado con vermicomposta de biosólido (0.101 mg C kg^{-1} de suelo seco).

Durante el primer día del experimento grandes cantidades de N_2O fueron emitidas del suelo, pero disminuyeron drásticamente y fueron negativas entre los días dos y cinco, es decir, la reducción de N_2O a N_2 fue mayor que la producción de N_2O. Cantidades significativas de N_2O fueron producidas nuevamente entre los días 5 y 17 pero posteriormente disminuyó la emisión de N_2O (Figura 5).

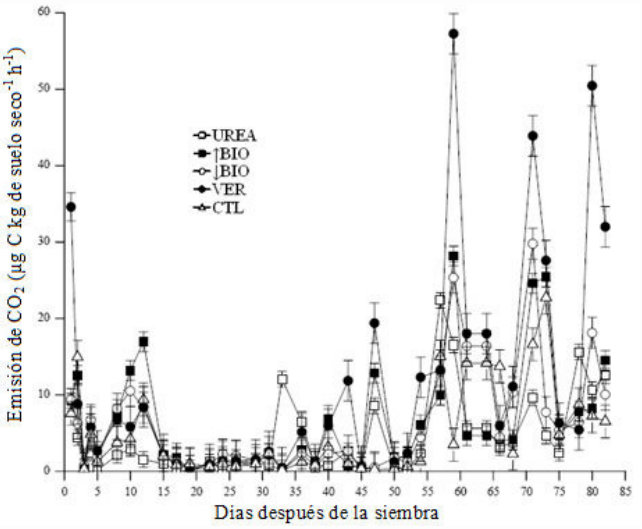


Figura 4. Emisión de CO_2 de suelo agrícola cultivado con frijol en condiciones de invernadero.

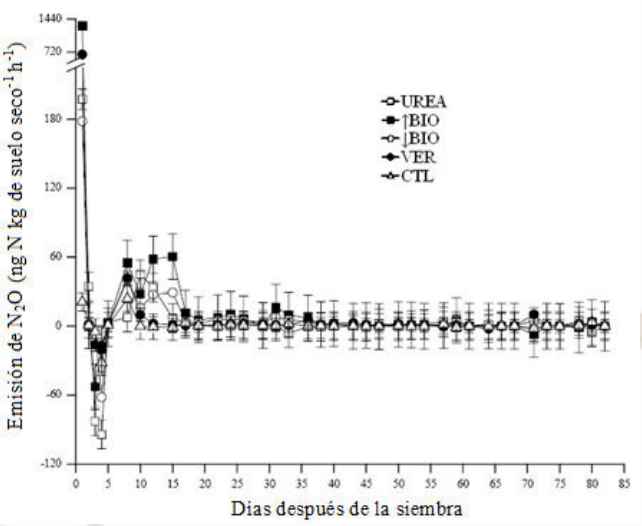


Figura 5. Emisión de N_2O de suelo agrícola cultivado con frijol en condiciones de invernadero.

La emisión de CO_2 después de 30 días fue mayor cuando el biosólido fue adicionado, comparado con suelo sin fertilizar, pero la dosis de biosólido i.e. 33 o 55 Mg ha^{-1} no tuvieron efecto significativo. Paramasimav *et al*. (2008) encontró que la emisión de CO_2 incremento conforme las dosis de biosólido se aumentaron pero las cantidades que ellos emplearon fueron mucho mayores (100 y 150 Mg ha^{-1}) que las que se utilizaron en este experimento. El biosólido podría directa e indirectamente incrementar la emisión de CO_2 del suelo.

Directamente a través de la mineralización del C orgánico del biosólido e indirectamente mediante el incremento de la actividad microbiana en la rizósfera de la planta. El efecto de la vermicomposta sobre la emisión de CO_2 es presumiblemente de forma indirecta debido a que la vermicomposta mejora la estructura del suelo, permite la continuidad de los poros, favorece la penetración de las raíces y facilita el flujo de agua y gases. Adicionalmente la vermicomposta estimula el crecimiento de la planta, incrementa los exudados de la raíz y mejora la actividad microbiana del suelo.

Al inicio del experimento, cuando el suelo fue colocado en los tubos de PVC, el suelo fue tamizado, aereado e irrigado, por lo que la actividad microbiana se incremento observándose así un aumento en la emisión de CO_2. Después de este equilibrio inicial los exudados de las raíces dieron a los microorganismos material orgánico fácilmente mineralizable lo cual nuevamente incrementó la emisión de CO_2. Al final del experimento presumiblemente el CO_2 se incrementó debido al inicio de la senescencia y descomposición de la raíz. Fernández-Luqueño *et al*. (2008) mostraron con plantas de frijol que 48 días después de la siembra el nódulo comienza a senescer, decrece el número de éstos y su pared celular se adelgaza y degrada por lo que los microorganismos tiene un incremento de sustrato y aumenta su actividad y por tanto, la producción de CO_2. Yevdokimov *et al*. (2006) observaron que la máxima emisión de CO_2 de suelo cultivado con avena (*Avena sativa* L.) se alcanzó cuando el cultivo llegó a su máximo crecimiento.

Diferentes procesos y factores controlan la emisión de N_2O del suelo. La nitrificación y la desnitrificación son los procesos más importantes que contribuyen a la emisión de N_2O del suelo (Menendez *et al*., 2008) las cuales son controladas por factores ambientales, sistemas de cultivo, prácticas de manejo del suelo (Ellert y Janzen, 2008) por fertilización orgánica o inorgánica y por el régimen de humedad (Zou *et al*., 2008).

La adición de urea significativamente incrementó la emisión de N_2O comparado con el suelo sin fertilizar i.e. 0.30 y 0.03 kg N_2O-N ha^{-1} $año^{-1}$, respectivamente. Aulakh *et al*. (1984) encontró que la emisión de N_2O significativamente incrementó en suelo cultivado con trigo y fertilizado con urea, la nitrificación fue presumiblemente que más contribuyó a la emisión de N_2O (Harrizon y Webb, 2001). Sin embargo, Beck-Friis *et al*. (2000) demostraron que la formación de N_2O puede ser tanto un subproducto de la oxidación de amonio como producto final de la reducción incompleta de NO_3^-.

Durante el primer día del experimento grandes cantidades de N_2O fueron emitidas por el suelo, pero posteriormente la producción disminuyó. Eicher (1990) analizó mediciones directas en suelo de N_2O de 104 experimentos en campo publicados antes de 1990 y encontró que al inicio de los experimentos siempre incrementa la emisión de N_2O, pero posteriormente disminuye. Chapuis-Lardy *et al*. (2007) determinaron que la absorción de N_2O parece ser estimulada por la baja disponibilidad de nitrógeno mineral, aunque se sabe que otros factores como la temperatura del suelo, el pH y el contenido de O_2 también afectan la reducción de N_2O, además de que factores abióticos como la reacción de N_2O con minerales del suelo podrían también explicar el consumo neto de N_2O (Chapuis-Lardy *et al*., 2007). Con base en nuestro conocimiento y la revisión bibliográfica, hasta ahora no es posible definir el conjunto de características o condiciones que expliquen el consumo neto de N_2O en suelos.

IV. CONCLUSIONES

El rendimiento de granos y las características de planta de suelo fertilizado con biosólido fueron superiores a aquellos sin fertilizar o fertilizados con urea, pero menores que los fertilizados con vermicomposta de biosólido. El número de nódulos activos y totales fue menor en suelos fertilizados con urea, biosólidos o vermicomposta, pero esto no inhibió el desarrollo de la planta. La mayor cantidad de CO_2 fue emitida al final del ciclo de agrícola, independientemente del tratamiento empleado, lo cual indica que la emisión de CO_2 esta correlacionada positivamente con el estado fenológico del cultivo. Implicaciones ambientales

y económicas deben ser consideradas para determinar cuánto, con qué frecuencia y qué tipo de fertilizante orgánico podría ser empleado para incrementar el rendimiento.

V. RECONOCIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica de Tulancingo, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), proyecto 39801-Z y al Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del CINVESTAV. F.F.-L. recibió beca del CONACyT.

VI. REFERENCIAS

Amarger, N., 2001. Rhizobia in the field. Advances in Agronomy. 73, 109-168.

Aulakh, M.S., D.A. Rennie, and E.A. Paul, 1984. Acetylene and N-serve effects upon N_2O emissions from NH_4^+ and NO_3^- treated under aerobic and anaerobic conditions. Soil Biology and Biochemistry 16, 351-356.

Araya, C.M., 2003. Coevolución de interacciones hospedante-patógeno en frijol común. Fitopatología Brasileira 28, 221-228.

Beck-Friis, B., M. Pell, U. Sonesson, H. Jonsson, and H. Kirchmann, 2000. Formation and emission of N_2O and CH_4 from compost heaps of organic household waster. Environmental Monitoring and Assessment 62, 317-331.

Broughton, W.J., 2003. Roses by other names: taxonomy of the *Rhizobiaceae*. Journal Bacteriology 185, 2975-2979.

Cordovil, C.M.D.S., F. Cabral, J. Coutinho, 2007. Potential mineralization of nitrogen from organic wastes to ryegrass and wheat crops. Bioresource Technology 98, 3265-3268.

Chapuis-Lardy, L., N. Wrage, A. Metay, J.L. Chotte, and M. Bernoux, 2007. Soils, a sink for N2O? A review. Global Change and Biology 13, 1-17.

Cheng, H.F., W.P. Xu, J.L. Liu, Q.J. Zhao, Y.Q. He, and G. Chen, 2007. Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turfgrass growth. Ecological Engineering 29, 96-104.

Contreras-Ramos, S.M., E.M. Escamilla-Silva, and L. Dendooven, 2005. Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat Straw. Boilogy and Fertility of Soils 41, 190-198.

Dasilva, P.M., S.M. Tsai, and R. Bonetti, 1993. Response to inoculation and N-fertilization for increased yield and biological nitrogen-fixation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant and Soil 152, 123-130.

Daba, S. and M. Haile, 2000. Effects of rhizobial inoculant and nitrogen fertilizer on yield and nodulation of common bean. Journal of Plant Nutrition 23, 581-591.

Eicher. M.J., 1990. Nitrous oxide emissions from fertilized soils: Summary of available data. Environmental Quality 19, 272-280.

Ellert, B.H., and H.H. Janzen, 2008. Nitrous oxide carbon dioxide and methane emissions from irrigated cropping systems as influenced by legumes manure and fertilizer. Canadian Journal of Soil Science 88, 207-217.

Fernández-Luqueño, F., L. Dendooven, A. Munive, L. Corlay-Chee,, L.M. Serrano-Covarrubias, and D. Espinosa-Victoria, 2008. Micro-morphology of common bean (Phaseolus vulgaris L.) nodules undergoing senescence. Acta Physiologiae Plantarum 30, 545-552

Fernández-Luqueño, F., V. Reyes-Varela, C. Martínez-Suárez, R.E. Reynoso-Keller, J. Méndez-Bautista, E. Ruíz-Romero, F. López-Valdez, M.L. Luna-Guido, and L. Dendooven, 2009. Emission of CO2 and N2O from soil cultivated with common vean (Phaseolus vulgaris L.) fertilized with different N sources. Science of the Total Environment 407, 4289-4296.

Fernandez-Luqueño, F., V. Reyes-Varela, C. Martínez-Suárez, G. Salomón-Hernández, J. Yáñez-Meneses, J.M. Ceballos-Ramírez, and L. Dendooven L. 2010. Effect of different nitrogen sources on plant characteristics and yield of common vean (Phaseolus vulgaris L.). Bioresource Technology 101, 396-403.

Fytili, D., and A. Zabaniotou, 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods - A review. Renewable and Sustainable Energy Review 12, 116-140.

Harrison, R., and J. Webb, 2001. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. Advances in Agronomy 73, 65-108.

Harrison, E.Z., S.R. Oakes, M. Hysell, and A. Hay, 2006. Organic chemicals in sewage sludge. Science of the Total Environment 367, 481-497.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Intergovernmental Panel on Climate Change WGI, Fourth Assessment Report, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. IPCC Secretariat, c/o WMO, 7bis, Avenue de la Paix, C.P.N. 2300, 1211 Geneva 2, Switzerland. 2007. Available from: http://www.ipcc.ch/SPMfeb07.pdf.

Khwairakpam, M., and R. Bhargava, 2009. Vermitechnology for sewage sludge recycling. Journal of Hazardous Materials 161, 948-954.

Menendez, S., R.J. Lopez-Bellido, J. Menitez-Vega, C. Gonzalez-Murua, L. Lopez-Bellido, and J.M. Estavillo, 2008. Long-term effect of tillage crop rotation and N fertilization to wheat on gaseous emissions under rainfed Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy 28, 559-569.

Montes-Molina, J.A., M. Luna-Guido, J.M. Ceballos-Ramírez, F. Fernández-Luqueño, N. Espinoza-Paz, R. Rincón-Rosales, L. Dendooven, and F.A. Gutierrez-Miveli, 2008. Effect of pest-controling neem and mata-raton on bean growth, soil N and soil CO_2 emissions. Agronomy for Sustainable Development. 28, 187-194.

Ortega, R.C., and B.R. Ochoa, 2003. El frijol mexicano y el nuevo siglo. Claridades Agropecuarias 124, 6-15.

Paramasivam, S., G.Z. Fortenberry, A. Julius, K.S. Sajwan, and A.K. Alva, 2008. Evaluation of emission of greenhouse gases from soils amended with sewage sludge. Journal of Environ Science and Health A 43, 178-85.

Togay, N., Y. Togay, and Y. Dogan, 2008. Effects of municipal sewage sludge doses on the yield, some yield components and heavy metal concentration of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). African Journal of Biotechnology 7,3026-3030.

Yevdokimov, I., R. Ruser, F. Buegger, M. Marx, and J.C. Munch. 2006. Microbial immobilisation of ^{13}C rhizodeposits in rhizosphere and root-free soil under continuous ^{13}C labelling of oats. Soil Biology and Biochemistry 38, 1202-1211.

Yuruk, A., and M.A. Bozkurt, 2006. Heavy metal accumulation in different organs of plants grown under high sewage sludge doses. Fresenius Environmental Bulletin 15, 107-112.

Zou, J.W., Y. Huang, X.H. Zheng, and Y.S. Wang, 2007. Quantifying direct N_2O emissions in paddy fields during rice growing season in mainland China: Dependence on water regime. Atmosphere and Environment 41,8030-8042.

Vulnerabilidad social y ambiental por el manejo de llantas de desecho en la ciudad de Mexicali

Deniss Fonseca Páez, Ma. Elizabeth Ramírez Barreto
Instituto de Ingeniería.
Mexicali, Baja California, México
email:ingfonseca@yahoo.com

Resumen
La creación de tiraderos clandestinos en la ciudad provoca no solo problemas de mal olor e impacto visual a la ciudad sino también de salud y contaminación al medio físico que los rodea. Las llantas de desecho suelen convertirse en hábitat de roedores y mosquitos, creando un foco de propagación de enfermedades y riesgo a los bienes materiales e impacto ambiental por quema incontrolada de las mismas.

La quema de llantas al aire libre genera una serie de toxinas que dañan a la salud de las personas. Algunos compuestos son mutagénicos y cancerígenos. En cuanto al medio físico, los lixiviados producidos por la quema de llantas pueden escurrir hasta corrientes de agua provocando la contaminación de los acuíferos y el suelo. Estos problemas ponen en riesgo, o posibilidad de daños y pérdidas, tanto al medio físico, bienes materiales y salud de la población y en mayor medida a la que se localiza cerca de tiraderos de llantas, lo que hace que sean más vulnerables que el resto de la población. Estos problemas se presentan con mayor frecuencia en colonias con servicios públicos y urbanización, condiciones de higiene y educación precarios, provocados, en parte, por el crecimiento acelerado de la población y marginación social y económica. Es por esta razón que en este trabajo se pretende identificar las zonas con mayor vulnerabilidad por exposición a llantas de desecho en la ciudad de Mexicali con ayuda del sistema de información geográfico.

Palabras Clave – Manejo de residuos, llantas de desecho, vulnerabilidad, sistema de información geográfica

Abstract
The creation of illegal dump sites in the city causes, not only problems of bad scent and visual impact, but it also affects the health of the community and the environment of the surroundings. The scrap tires usually become habitat of rodents and mosquitoes creating a center of propagation of diseases.

The ignition or tires generates a series of toxins that affects the health of the community. Some of the compounds are mutagenic and carcinogenic. In physical soil conditions, the leached produced by ignition of scrap tires can pollute nearby water sources (may result in surface and groundwater pollution). These problems may put in risk, the possibility of damages and losses, of physical soil conditions, property values and public health and safety, which can be increase if nearby is a dump site with scrap tires, making the area more vulnerable. The problem tends to be worse in areas with precarious conditions of utilities, urbanization, hygiene and education, brought about, partly, by the accelerated growth of the population and social and economic marginalization. Based on that, this work is intended to identify the zones with greater vulnerability by exposure to scrap tires in the city of Mexicali by using geographic information system.

Keywords – waste management, scrap tires, vulnerable, geographic information system

I. INTRODUCCIÓN

Las llantas de desecho son un problema ambiental en nuestro país, el cual se enfatiza en la frontera, como es el caso de la ciudad de Mexicali donde debido a una mayor generación de llantas de desecho y falta de centros de acopio o disposición final, la población y comerciantes las depositan en patios de casas, terrenos baldíos, drenes o canales, tiraderos clandestinos y vía pública, entre otros. Estas llantas son el refugio de plagas, roedores e insectos que son vectores de enfermedades, y constituyen una amenaza para el entorno y

la salud humana. Si se presentara un incendio en los sitios de acumulación generaría excesiva contaminación en el aire, el agua y la tierra. Las llantas desechadas también crean problemas de contaminación visual y usurpan el espacio vital de la naturaleza.

Es posible que la población que se encuentre cerca de estos tiraderos de llantas sea más susceptible al riesgo que el resto de la población, debido a las amenazas provocadas por la disposición que se les da a las llantas de desecho. Hay que considerar que todos estos problemas se presentan en colonias o zonas con características muy similares, las cuales cuentan con servicios básicos escasos y sus condiciones de higiene y educación son precarias, ocasionado en parte por el crecimiento acelerado de la población y la falta de recursos para dotarlos de infraestructura y servicios urbanos.

Es por ello que es necesario determinar dónde se localiza la población vulnerable por vivir cercana a lugares donde se presentan un mayor número de tiraderos clandestinos o sitios donde se almacenan llantas de desecho con escasas medidas de seguridad.

El concepto de vulnerabilidad se entiende como la incapacidad de resistencia cuando se presenta un fenómeno, o la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre (Rodríguez, 2002). La vulnerabilidad ante el manejo inadecuado de las llantas de desecho depende de diferentes factores, como son: edad y salud de las personas, condiciones higiénicas y ambientales así como la calidad y condiciones de las construcciones y su ubicación en relación con las amenazas. Por lo que, en los casos de familias o poblaciones que sus condiciones de vida sean de un nivel bajo incrementa el grado de vulnerabilidad por encontrarse cerca de tiraderos de llantas de desecho.

1.1 Llantas de desecho

Las llantas son una mezcla de polímeros vulcanizados o entrecruzados, negro de carbono, dispersión de petróleo, azufre, fibras sintéticas, pigmentos, químicos procesados y aceros o fibras de vidrio (Ramírez-Barreto et al., 2002). Su estructura está formada en la parte interior por láminas de caucho, una malla de acero y/o textil y una capa exterior de caucho macizo moldeado, que constituye la banda de rodadura. Esta banda es la que va en contacto con la superficie del camino, tiene una alta resistencia al desgaste y a través de su diseño proporciona las características de tracción, frenado y adherencia (Martínez, 2005).

Una llanta de desecho es una llanta que ya ha sido usada y que no se puede o no se reutiliza para los fines previstos originalmente y que no es tratada (vulcanizada). Estas llantas pueden ser utilizadas como materia prima para otros procesos o ser destinadas a disposición final (Norquay, 2004).

El destino que tiende a ser lo más adecuado para almacenar las llantas que han llegado a la condición de llantas de desecho es un tiradero controlado. Este sitio se tiene como un lugar temporal para el almacenamiento de llantas con la intención de que se obtenga un uso futuro para éstas.

La acumulación de las llantas de desecho tiende a incrementarse en ciudades fronterizas, como es el caso de Mexicali, por la facilidad de importar las llantas usadas con media vida útil del país vecino. Lo anterior ha provocado la creación de un gran mercado fronterizo de llantas usadas. Al ser un producto ya usado, su vida es significativamente menos duradera que una llanta nueva y aunado con la importación de llantas de desecho que vienen en lotes (forma común de exportación de llantas) como llantas usadas de media vida útil, se crea un problema ambiental.

Las llantas de desecho estimadas en el 2005 para la ciudad de Mexicali fue de 2,025,000 llantas (COCEF, 2005). La estimación se considera a partir de las llantas que se encuentran en los centros de disposición autorizados o bien controlados y existe una problemática con las llantas que se encuentran rezagadas en tiraderos no controlados.

De acuerdo al estudio realizado por Ramírez (2002), en el cual se aplicó una encuesta a 231 llanteras, se conoce el manejo que le dan a las llantas. Los resultados muestran que solo el 16% de los comerciantes de llantas usadas llevaban las

llantas de desecho al centro de acopio ubicado en el Centinela (centro de acopio oficial ya clausurado en ese entonces), el 9.52% a una recicladora y otros, el 9.09% mencionaba que las llevan a un centro de acopio pero no indicaban cuál, finalmente algo muy significativo fue que el 41.56% no quiso contestar, muy posiblemente debido a la forma inadecuada en que las disponían.

Tabla 1. Manejo de llantas de desecho de automovilistas en Cd. Juárez.

Descripción	Porcentaje
Las dejan en llanteras	38.2%
Las almacenan en su casa	9.5%
Les dan un uso en su hogar	2.6%
Las llevan al relleno sanitario/tiradero municipal	2.6%
Otro	45.5%
No sabe/no contesto	1.6%
TOTAL	**100%**

En otro estudio sobre la disposición de llantas de desecho realizado por el Colegio de la Frontera Norte (COLEF) aplicado a los automovilistas de Cd. Juárez, se obtuvo que el 2.6% las depositan un lugar controlado y el 38.2% en una llantera, mientras que el 45.5% contestó que en otros lugares (COCEF, 2005). El 56.6% no tiene una disposición segura, y al no tener un control en su disposición hace vulnerable a la población que se encuentre cerca de los acumulamientos de llantas.

La alta disponibilidad de llanta usada, su relativo bajo costo y la reducida vida de servicio constituyen los factores primarios para la generación de grandes volúmenes de llantas de desecho que no han tenido una disposición final adecuada y que se han acumulado a lo largo de los años en diferentes sitios de la geografía del municipio.

1.2 Riesgos de acumulación en tiraderos

De acuerdo a investigaciones sobre llantas de desecho, éstas por si solas no producen daños ambientales, por lo que podrían ser dispuestas en un terreno sin generar problemas de contaminación por lixiviación de productos tóxicos. El almacenamiento y la disposición final de las llantas de desecho en el terreno o en vertederos, sean estos controlados o no controlados, representan riesgos que pueden ser devastadores cuando interviene un fenómeno natural o antropogénico, como un incendio, y puede afectar tanto a la salud como en lo ambiental, como en los costos económicos que estas acarrean, (Norquay, 2004).

1.2.1 Riesgos para la salud

Las llantas convertidas en basura sin control constituyen focos de infección al promover el anidamiento de fauna nociva, particularmente mosquitos, ratas, arañas y demás especies que buscan lugares obscuros y protegidos para reproducirse. Las llantas constituyen un hábitat insuperable para otros insectos peligrosos ya sea por su veneno o por lo doloroso de su picadura o mordida, dentro de los que destacan los alacranes, viudas negras, ciempiés y otros. En aquellos sitios que, además de llantas, también se acumulan desechos orgánicos, la presencia de ratas es muy común.

Las medidas de control para estas plagas tienen grandes dificultades para progresar ya que es difícil hacer llegar insecticidas dentro de los apilamientos debido a las formas propias de las llantas. A la misma dificultad se le suman los altos costos de cualquier programa de control para un problema tan disperso.

1.2.2 Riesgos por incendio

La acumulación de grandes cantidades de llantas de desecho, altamente combustibles, puede significar un peligro a la salud pública si llegan a arderse, ya que se desprenderían una gran cantidad de gases y humos con un alto contenido de sustancias tóxicas que se forman debido a procesos ineficaces de combustión. La quema de llantas origina la formación de grandes cantidades de aceites, hasta un galón por llanta, que causan la contaminación del suelo y de los mantos freáticos.

Debido a la gran cantidad de material combustible, es extremadamente difícil extinguir un incendio de esta naturaleza por los grandes requerimientos de agua y equipo que se necesitan en esos casos. Otro de los problemas para apagar un incendio, es que apiladas en su geometría habitual, el fuego encuentra una gran cantidad de intersticios interconectados que favorecen su avivamiento por lo que lo hace prácticamente imposible de apagar.

1.2.3 Impacto visual

Aunado a los problemas ambientales, se tiene también el impacto negativo al paisaje urbano causado por la vista de las llantas de desecho almacenadas y dispersas en gran parte de la mancha urbana y en los terrenos cercanos.

La llanta de desecho viene usurpando el espacio vital de la naturaleza quitando espacio al desarrollo natural de áreas verdes y la generación de la fauna correspondiente a esta condición.

Debido a la acumulación de llantas de desecho en lugares o tiraderos no controlados nos proponemos como objetivos el identificar las zonas que presenten riesgo de acumulación de llantas de desecho e identificar a la población más vulnerable por la amenaza del manejo inadecuado de las llantas de desecho.

II. MATERIALES Y MÉTODO

Este proyecto se realiza en la ciudad de Mexicali, Baja California, México, se ha tomado como unidad de medida a las colonias que se encuentra en zonas con problemas de concentración de llantas ya sea en establecimientos dedicados a esta actividad o en tiraderos no controlados; valiéndose para ello de bases cartográficas, socioeconómicas, demográficas y geográficas. Estos recursos metodológicos están orientados al uso de herramientas informáticas que permitan analizar y evaluar las diferentes variables.

Para el logro de los objetivos propuestos se recurre a los métodos y técnicas que se describen a continuación:

- Localización y caracterización de los sitios de almacenamientos de llantas nuevas, usadas y de desecho dentro de la traza urbana de Mexicali a partir de la confección y aplicación de fichas técnicas descriptivas (método LIFE – Comunidad Económica Europea).

− Determinación de las zonas con mayores impactos y problemas ambientales dentro del área urbana a través del análisis y síntesis del material procesado.

− Detección de las características de la población dentro de las zonas que puedan estar amenazadas a través de un análisis cartográfico, bibliográfico, y estadístico sobre el tema.

− Caracterización de dichas zonas a partir de la aplicación de un método de tipo cualitativo que permita identificar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (matrices FODA) que posee en las zonas definidas para su estudio.

- Valoración del nivel de afección de las zonas de acumulación de llantas sobre el entorno sujeto a estudio, a partir del análisis de la información recabada, complementadas con un análisis geoespacial.

A partir de la aplicación de estos métodos y el análisis de sus resultados se realiza la evaluación de los riesgos a los que están expuestos los habitantes de la ciudad de Mexicali por el manejo de las llantas de desecho.

III. RESULTADOS

Se dividió la ciudad en 9 zonas, en las cuales se localizaron 234 llanteras, su distribución y localización se muestra en la figura 1 y 2. Podemos observar que el 75.64% de las llanteras se encuentran dentro de cuatro zonas, C: Centro, D: Pro-Hogar y Cuauhtémoc, H: Palaco e I: Infonavit.

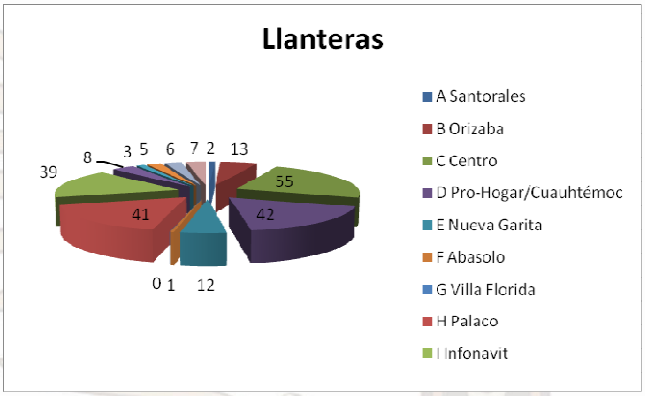


Fig. 1. Cantidad de llanteras distribuidas por zonas.

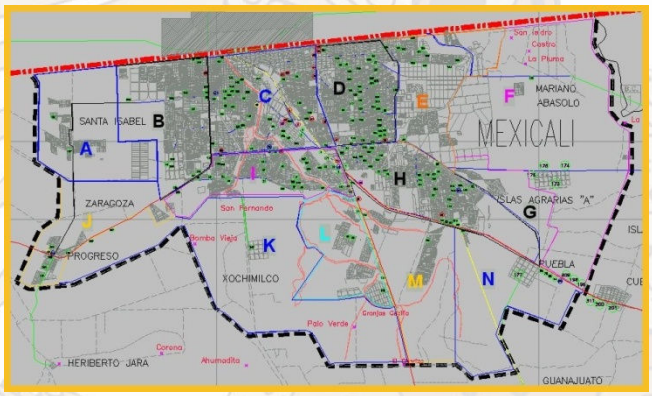


Fig. 2. Mapa de la ciudad de Mexicali con distribución de llanteras por zonas (Ramírez, 2002).

En la zona "C" domina el tipo habitacional popular y medio, y además residencial. Se puede decir que esta zona se encuentra saturada, no ha sufrido cambios en usos de suelo y la cobertura de servicios es completa. Es una de las zonas con mayor nivel de urbanización.

La zona "D" ha tenido un rápido desarrollo en los últimos años, dominando el uso habitacional tipo medio y residencial. En esta zona se construyó el Puerto Fronterizo Nuevo Mexicali, sitio en donde además de ser otra alternativa de cruce para el turista y usuario local se concentran los flujos de importación y exportación, actividad que ya en la actualidad impacta en el mercadeo del suelo.

El uso dominante, en la zona "H", es el habitacional tipo deficiente con vivienda progresiva y dotación de servicios de infraestructura en proceso. Cuenta con amplias reservas para uso habitacional. No ha sufrido cambios considerables.

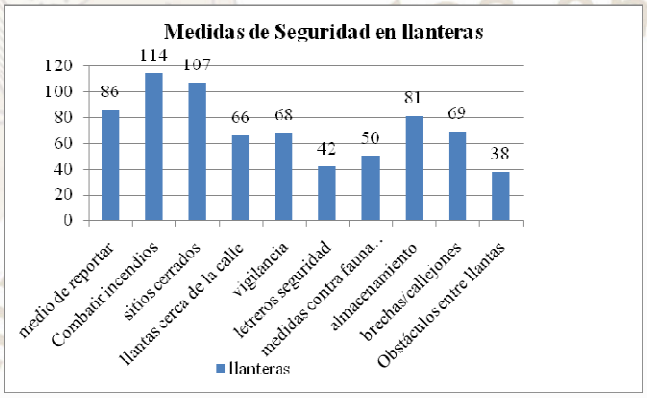
En la zona "I" se identifica que el uso dominante es el habitacional de tipo popular y reserva habitacional. Actualmente se encuentran en construcción varios fraccionamientos de interés social. En cuanto a la actividad urbana se estructura con base en los núcleos concentradores de servicios; centro urbano, subcentros, corredores de servicios, concentraciones de equipamiento, centros de barrio (colonia) y centros vecinales.

La tipología de las viviendas se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2. Tipología de viviendas por zona.

Zona	Tipo de Vivienda
C	Residencial, Precaria, Popular Progresivo
D	Residencial, Medio, Popular, Precario
H	Popular, Interés Social
I	Medio, Popular Progresivo, Interés Social, Precario

Las llanteras deben tomar medidad de seguridad para evitar desastres, en las zonas mencionadas solo algunas de ellas las llevan acabo. La gráfica 1 nos muestra la medida de seguridad que se considera y las cantidades de llanteras por zona que lo llevan a cabo.



Gráfica 1. Medidas de seguridad tomadas en cuenta en las zonas C,D,H, I.

IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Se considera el concepto de vulnerabilidad como el conjunto de condiciones que limitan la capacidad de defensa o de amortiguamiento ante una situación de amenaza y confieren a las poblacio-

nes humanas, ecosistemas y bienes, un alto grado de susceptibilidad a los efectos adversos que puede ocasionar el manejo de los materiales o residuos, que por sus volúmenes y características intrínsecas, sean capaces de provocar daños ambientales, (LGPGIR, 2007).

Wilches-Chaux indica que una sociedad puede afrontar distintas vulnerabilidades, tales como, la vulnerabilidad social así como la vulnerabilidad ecológica y los factores de los cuales se originan son: la fragilidad física o exposición, la fragilidad social y la falta de resiliencia, (Cardona, 2001).

La falta de resiliencia hace que la población sea vulnerable, esto se puede observar en las colonias con menores niveles de ingresos, en donde la vivienda sea deficiente, progresiva o de autoconstrucción, construida con materiales más vulnerables al fuego, como la madera y el cartón, tal es el caso de las zonas "C", "D" e "I", donde existen viviendas de tipo precario. Tienen limitaciones de acceso y movilización de recursos, que no les permite absorber el impacto del desastre.

Hay personas que son más propensas a sufrir por el impacto que pueden provocar las llantas de desecho o las llantas mal almacenadas, ya que presentan una fragilidad física. Las viviendas que se encuentran más expuestas se localizan en la periferia de la ciudad donde hay llanteras o tiraderos clandestinos, no cuentan con las medidas necesarias para protegerse contra las amenazas de incendios y las disponen inadecuadamente en tiraderos clandestinos o patios de los negocios que a la vez son sus viviendas. El tipo de materiales constructivos de la vivienda en estas zonas son poco resistentes a incendios. La vulnerabilidad es mayor donde las instalaciones o negocios de venta de llantas usadas y servicio forman parte de la propia vivienda, y no cumplen con las medidas de seguridad y las llantas de desecho se encuentran mal dispuestas.

La fragilidad social se presenta en zonas con nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socioeconómicos. Esto lo podemos observar en las zonas "I" y "H" que se encuentran en la periferia de la ciudad y sus tipos de viviendas son de escasos recursos. En estas cuatro zonas podemos observar tanto una vulnerabilidad social, fragilidad física y falta de resiliencia de la población.

Es así que la experiencia demuestra que los sitios donde se presentan con mayor frecuencia incendios y tiraderos clandestinos que contaminan al ambiente se localizan generalmente en zonas socialmente más desprotegidas o con menor infraestructura y servicios urbanos. Es por ello que en estas zonas la población presenta un mayor riesgo y es más vulnerable que aquella localizada en partes de la ciudad donde existe un mayor nivel de infraestructura urbana, que cuenta con todos los servicios públicos y las condiciones de la construcción y medidas de seguridad de las instalaciones y viviendas de la población cercana son mejores o se encuentran más protegidas.

Es por ello, la importancia de conocer los niveles de vulnerabilidad de la población en las distintas zonas de la ciudad donde se localizan los sitios donde se almacenan o disponen de manera clandestina las llantas de desecho con el propósito de comunicar el riesgo principalmente a la población más vulnerable y minimizarlo a través de medidas de seguridad y un manejo más adecuado de los residuos.

Este trabajo presenta solo un avance de lo que se lleva a cabo hasta el momento, por lo que conforme se avance, irán saliendo mayores detalles sobre características de la población más vulnerable, lo que permitirá hacer recomendaciones específicas con el propósito de minimizar el riesgo o bien reducirlo en la medida de lo posible.

V. RECONOCIMIENTOS

Agradezco a CONACYT por el apoyo que me otorga con la beca inversión en el conocimiento. A la Dra. Ma. Elizabeth Ramírez Barreto, que es mi directora de tesis, por confiar en mi desempeño y trabajo y a mis compañeros, ahora amigos, por la motivación de seguir adelante.

VI. REFERENCIAS

Cardona, O.D., 2001. La Necesidad de Repensar de Manera Holística los conceptos de Vulnerabilidad y Riesgo. "Una crítica y una revisión necesaria para la gestión". Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

COCEF, Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, 2008. Guía Municipal para el Manejo Integral de llantas de desecho. Estudios estratégicos sectoriales.

LGPGIR, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2007. México. Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión.

Martínez J., 2005. Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos Fichas Temáticas Tomo II: Neumáticos Usados. Environment and Natural Resource Management, Canadá, 21-26.

Norquay, K. 2004. End-of-life Tyre Management: Storage Options, Final report for the Ministry for the Environment. MWH, New Zeland Ltd.

Ramírez-Barreto, M.E., 2002. Alternativas para la gestión de llantas de desecho: el caso de una comunidad urbana. Instituto de Ingeniería. UABC. Mexicali, B.C. Proyecto CONACYT.

Ramírez-Barreto, ME., S. Ojeda-Benítez, F. González, P. Luna, C. Armijo, PS. Phillips, P. Clarkson, 2002. Waste Tires: Procedures for Characterizing and Quantifying a Final Disposal Site. College Northampton, UK.

Rodríguez, JM., 2002. Los desastres naturales en Mexicali, B.C.: Diagnóstico sobre el riesgo y la vulnerabilidad urbana. Frontera Norte. Vol. 14, 123-153. Tijuana, B.C., México.

Los residuos sólidos en las sociedades industriales

Sergio Alejandro Quiroz González
Facultad de Economía. División de Estudios de Posgrado. UNAM.
México, DF. México
email: alquigon79@gmail.com

Resumen

El fenómeno de los residuos sólidos urbanos en particular, y de los residuos sólidos en general reviste una crucial importancia en el ámbito de las sociedades industriales, debido a la intensidad con la que son generados, y la forma en la que son acumulados. El tema es por demás importante, ya que pone de manifiesto que el modo de producción que se replica en las actuales sociedades industriales hace un uso intensivo y extensivo de los recursos naturales que son, dada la forma intensiva de explotarlos, finitos. Tal situación trae aparejado el fenómeno de la disposición final de los residuos sólidos, el cual ya sea que se haga en lugares controlados o en lugares clandestinos, provoca un impacto ambiental con el cual se están cancelando las posibilidades de vida futuras.

Al presentar un análisis detallado de la forma en la que son generados los residuos sólidos en las sociedades industriales, es posible tener un panorama amplio respecto a las consecuencias propias del fenómeno, así como las alternativas con las que se pueden contar para dar una salida a este tema que hoy por hoy es muy importante. Con este enfoque, que invariablemente agrega la crítica desde la perspectiva de la segunda ley de la termodinámica o Ley de la Entropía, es factible proponer alternativas que nos lleven a una situación de menor estrés infringido al planeta por las actividades del ser humano.

Palabras Clave – Residuos, sociedades industriales, entropía.

Abstract

The phenomenon of the solid urban waste in particular, and in the solid waste in general it re-dresses a crucial importance in the ambience of the industrial societies, due to the intensity with the one that they are generated, and the form in the one that they are accumulated. The topic is for others important, since it makes clear that the way of production that is answered in the current industrial societies makes an intensive and extensive use of the natural resources that are, considering the intensive way of exploiting them, finite. Such a situation brings prepared the phenomenon of the final disposition of the solid waste, which is already that it does in controlled places or in clandestine places, provokes an environmental impact with which the future possibilities of life are cancelled.

On having presented a detailed analysis of the form in which the solid wastes are generated in the industrial societies, it is possible to have a wide panorama with regard to the proper consequences of the phenomenon, as well as the alternatives with those who can be counted to give an exit to this topic that presently, is so important. With this approach, which invariably the reviewer adds from the perspective of the second law of the thermodynamics or Law of the Entropy, it is feasible to propose alternatives that take us to a situation of minor stress to the planet for the activities of the human being.

Keywords – Waste, industrial societies, entropy.

I. INTRODUCCIÓN

El abordaje teórico de los residuos sólidos urbanos implica necesariamente tres asuntos fundamentales: la definición del residuo sólido urbano, el modo de producción en el que son generados, y la forma en que circulan y son dispuestos de forma final a lo largo de su trayectoria en el sistema.

II. DEFINICIÓN DE RESIDUO SÓLIDO URBANO.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, por medio de la NOM-083-SEMARNAT-2003, proporciona la siguiente definición de residuos sólidos urbanos: "Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos" (SEMARNAT, 2003).

El residuo en términos de termodinámica, en el contexto de la producción y el consumo, no es otra cosa que la entropía de cualquier forma de energía o materia que ha sido sometido a un proceso de transformación; que queda disperso en el medio ambiente; que es dispuesto de forma final en algún sitio; y que puede ser sometido a un proceso de reúso o reciclaje antes de quedar completamente degradado e inservible para cualquier uso.

El caso de las sociedades industriales, en comparación con otras formas de organización social, es característico por la cantidad y formas de residuos que se generan en todas las actividades y tipos de asentamientos humanos, los cuales sobrepasan la capacidad político-administrativa, así como la capacidad de absorción del medio ambiente. Por lo tanto, una característica más es que su generación es creciente.

Es importante mencionar que el residuo es una condición inherente a cualquier modo de producción, y en el caso de las sociedades industriales a la producción de mercancías. De esta forma no hay mercancía que no tenga contenido en si algún tipo de material que se convertirá en residuo en cualquiera de las manifestaciones de la materia (sólido, líquido o gaseoso), que irremediablemente será depositado en el medio ambiente. Así, los costos derivados de su generación y tratamiento no son internalizados por quien los produce, ya que de ser así, su rentabilidad disminuiría y no habría motivación para emprender actividad económica alguna; ya que todas, sin excepción alguna, genera residuos.

En este modo de producción la rentabilidad de los proyectos relacionados con el tratamiento y reciclaje de materiales se logra cuando la cantidad de residuos recuperados es tal, que permite reponer la inversión realizada por el beneficio obtenido en la venta de los materiales; y cuando esto no sucede es necesario incentivarse la generación de más residuos para que la rentabilidad sea positiva.

Así, los proyectos de tratamiento y reciclaje de residuos sólidos deben ser evaluados en función de indicadores distintos al análisis costo-beneficio que muestren asuntos positivos relacionados con una mejor gestión de los residuos sólidos que no solamente puedan ser interpretados en términos de precios, sino en términos ambientales, o bien, en algunos casos los precios pueden ser evaluados indirectamente.

III. LA MERCANCÍA EN LAS SOCIEDADES INDUSTRIALES.

La Teoría del Valor tiene como centro de discusión a la mercancía, medio por el cual se logra cristalizar todos los objetivos que persigue este modo de producción bajo la lógica de la acumulación e incremento de ganancias.

Al definirla, encontramos que es un objeto exterior, una cosa que merced a sus propiedades satisface necesidades humanas del tipo que fueran (Marx, 1867, 1998). Estas necesidades pueden surgir ya sea de las necesidades biológicas o psicológicas del ser humano, y en las sociedades industriales, estas necesidades son satisfechas con mercancías a toda costa a través de la institución del mercado.

Las mercancías se encuentran presentes en todas y cada una de las esferas de satisfacción de necesidades; ya sean las del ser humano mismo satisfaciendo las suyas (biológicas y/o psicológicas), o bien, las del proceso de producción, satisfaciendo las de materias primas y auxiliares con el fin último de obtener una ganancia al producir bienes de uso, llevarlos al mercado como valores y realizarlos como mercancía al intercambiarlos por un equivalente general, el cual es acumulado como ganancia y empleado para iniciar de nuevo el proceso de producción, buscando una ganancia mayor a la anterior.

El modo de producción en las sociedades industriales se distingue por ser un sistema que produce para mercados locales y foráneos, promoviendo un intercambio de mercancías masivo. Su objetivo primordial es la acumulación mediado por el proceso de producción, tomando materias primas, ya sean provenientes de trabajo pretérito o de la fuente natural para su transformación y objetivación como mercancías, para la consecución de dicho objetivo, sin tomar en cuenta las repercusiones que ello pudiera tener en el ecosistema, o el bienestar de la sociedad por algún efecto adverso originado por su actividad.

IV. LOS RESIDUOS DE LAS SOCIEDADES INDUSTRIALES.

Este modo de producción tiene una forma específica de generar residuos, generación que es creciente en términos absolutos, y con características particulares por el tipo de residuos generados.

Marx define a los residuos del modo de producción capitalista en dos grandes grupos: de la producción y del consumo. Por los primeras entendemos los desechos de la industria y de la agricultura (y de los servicios), y por los últimas en parte los residuos resultantes del metabolismo natural del hombre, y en parte la forma en que quedan como residuos los objetos de uso luego de su consumo. (Marx, 1894, 1975) Por tanto, al hablar de residuo, nos referimos a la parte física del valor de uso de la mercancía.

El encarecimiento de las materias primas constituye, naturalmente, el impulso para la utilización de los desperdicios (Marx, 1894, 1975), de tal manera que representa un freno temporal a la caída tendencial de la tasa de ganancia.

Con estas premisas podemos entender que en la conformación de la mercancía como valor de uso y valor o valor de cambio, para cumplir su cometido de ser objeto de intercambio, se generan y emplean materiales que, al realizarse o no en el consumo, irremediablemente se convertirán en residuos, porque el residuo es parte de cada eslabón del proceso.

En cualquier modo de producción, de acuerdo a la ley de la entropía, se generan residuos o desechos, ya que no existen procesos completamente neutros energéticamente, es decir, ningún proceso de transformación de materia o energía deja de producir residuos, ya sean materiales o energéticos.

La acumulación es lo que caracteriza fundamentalmente a las sociedades industriales y que las diferencia de otros modos de producción. Esta lógica es la que provoca que el ritmo e intensidad con las que se lleva a cabo el proceso productivo sea siempre creciente, que supera a los ciclos naturales de recuperación y reconstitución de los ecosistemas y agota intensamente las reservas finitas de recursos naturales, limitando la disposición de materias primas de fuentes naturales por una parte; y por otra, con el fin de obtener una ganancia a través de la mercancía, por medio del intercambio, se empleen para su producción, conservación, almacenamiento, transporte y venta, materiales que al ser convertidos en residuos y dado el volumen creciente, no pueden ser degradados de forma natural, e independientemente del sitio de disposición final en el que sean depositados permanecerán (en la escala del tiempo huma-

no), a menos que sean sometidos a un proceso de degradación controlado como lo es la desintegración o el reciclaje; ambos generadores de residuos en las distintas manifestaciones de la materia y la energía.

De cualquier manera, en caso de no reciclarse, el residuo sin degradarse en algún componente útil, en última instancia queda situado en un relleno sanitario o un basurero dentro del sistema que representa el planeta tierra, que en términos de intercambio de materia con el exterior podemos considerarlo como un sistema cerrado.

V. LAS MATERIAS PRIMAS COMO RESIDUOS EN LA PRODUCCIÓN DE LA MERCANCÍA

En todos los modos de producción de bienes se requiere el empleo de materias primas, y como resultado de éste se generan residuos que: a) podrían haber sido parte de la mercancía, b) forman parte de la mercancía, o c) acompañan a la mercancía sin ser parte específica de ella. Todos ellos se pueden considerar como residuos primarios. Estos se describen a continuación.

Residuos primarios tipo A: El modo de producción determina las características, forma y volúmenes de generar desechos, para lo cual emplea materias primas que se insertan de forma directa en su conformación, de las cuales una parte (por mínima que sea), queda indispuesta para ser reinsertada en el proceso en el cual se originó. Estos residuos comprenden aquellos residuos que pese a que el valor de uso no ha salido al mercado, ya han sido generados e irresolublemente se encuentran destinados a la disposición final, dados los altos costos que representa reinsertarlas en el proceso de producción.

Residuos primarios tipo B: De igual forma, la mercancía en el proceso de producción es acondicionada para su realización en el momento cumbre del intercambio. Así, se envuelve con materiales que lo acompañarán a través de todo su recorrido en las distintas esferas: la esfera del intercambio por larga o corta que sea, así como en la esfera del consumo, en la cual la mercancía retomará su calidad de valor de uso y satisfará alguna necesidad, sin importar la procedencia de esta. Estos materiales que le acompañan, serán testigos de que cumpla su cometido como valor de cambio, es decir, cristalizándose en la venta, (y en el mejor de los casos retomar su cualidad de valor de uso) y una vez realizado esto, serán dispuestos de forma final, sin mayor importancia que la de haber contribuido a su realización prologando el proceso de circulación.

El residuo primario tipo C: Es aquel que es parte mismo del valor de uso, pero que por el uso subóptimo que se le da a este, o por el agotamiento de sus características en la esfera del consumo no es realizado en su totalidad y queda en forma de residuo.

El residuo primario tipo D: Aquellos que son resultado del proceso de sobreproducción característico del modo de producción capitalista; se refiere a todas aquellas mercancías que no son realizadas en la esfera del consumo y que, en el extremo, se convierten en residuos inmediatamente han salido del proceso productivo.

Los residuos secundarios del modo de producción capitalista se refieren a aquellos materiales que han sido empleados para su producción, almacenamiento, distribución, comercialización y transporte al lugar de consumo final.

Por último, una vez realizados todos los procesos de recuperación de residuos tanto orgánicos como inorgánicos, queda un tipo de residuo denominado irrecuperable, el cual emplearía más energía de la que se podría recuperar si se deseara reciclarlos, el cual cae en la clasificación de residuo secundario. Esto sucede dado que no es rentable llevarlo a cabo.

En la figura 1 se representa el recorrido de los residuos sólidos como ha sido explicado en los párrafos anteriores.

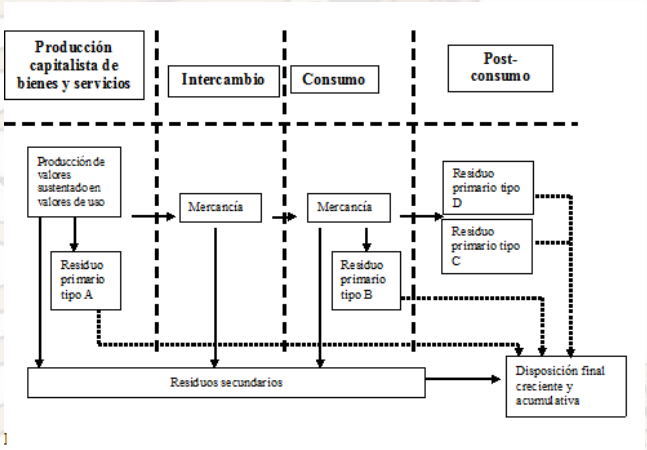


Figura 1. Cadena de generación de residuos en las sociedades industriales.

VI.RECONSTRUCCIÓN DEL RECORRIDO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LAS SOCIEDADES INDUSTRIALES.

La mercancía en su ciclo de vida, se encuentra constituida por un componente mayoritariamente útil para efectos del cumplimiento de sus funciones como valor de uso. El residuo primario tipo A puede ser reinsertado como materia prima dentro del proceso de producción, o bien puede salir al medio ambiente como residuo. En el caso de los orgánicos, al ser tratados de forma adecuada, nutren el suelo[1]. En el caso de los inorgánicos, si son reaprovechados, se acondicionan y adquieren características tales que pueden ser reinsertados en el proceso de producción. En caso contrario, si son destinados a disposición final de forma adecuada, quedan confinados en un espacio que cumple con especificaciones técnicas para disminuir el impacto ambiental; si son dispuestos de forma inadecuada, contaminan el ecosistema[2] en el cual son depositados, debido a la modificación adversa de las condiciones originales en que se establecían interacciones entre los diversos tipos de organismos habitantes del mismo.

Los residuos primarios tipo B en caso de estar conformados por materia inorgánica, pueden ser reaprovechados si son manejados adecuadamente desde el lugar en donde son originados por medio de un sistema de segregación polinaria[3]. En caso contrario, debido a sus características, puede ser transportado por actividad antropocéntrica o por fenómenos naturales a una gran distancia del lugar de donde se produjeron y ser un factor contaminante de distintos ecosistemas. En caso de ser orgánicos, pueden manejarse desde el lugar de origen en el mismo sistema para que a través de un proceso de degradación puedan ser empleados como nutriente del suelo.

En el caso de los residuos primarios tipo C pueden ser reciclados tanto si son orgánicos como si son inorgánicos siguiendo el mismo proceso que los residuos primarios tipo B, y los impactos ambientales de su incorrecta disposición final, son los mismos que los residuos primarios tipo A.

Los residuos secundarios, poseen características similares a los residuos primarios tipo A, y las

[1] Capa más superficial de la corteza terrestre, está compuesto por minerales –derivados de las rocas que les han dado origen– asociados con material orgánico en diversos grados de descomposición. (Curtis, 2000)

[2] Conjunto de interacciones recíprocas, que tienen dos consecuencias: 1) un flujo unidireccional de energía a través de organismos autótrofos (habitualmente fotosintéticos) hacia organismos heterótrofos, que se alimentan de autótrofos o de otros heterótrofos y 2) un reciclado de materiales que se mueven desde el ambiente abiótico, pasan a través de los cuerpos de los organismos vivos y regresan al ambiente abiótico. Este reciclamiento depende de los descomponedores, organismos que degradan los materiales orgánicos en una forma que puede ser utilizada por los autótrofos. Esa combinación de componentes bióticos y abióticos a través de los cuales fluye la energía y circulan los materiales se conoce como sistema ecológico o ecosistema. (Curtis, 2000)

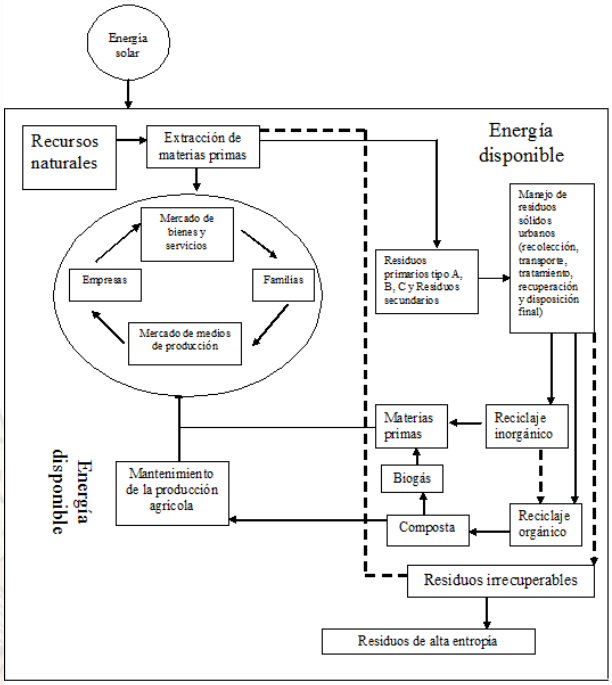
[3] Sistema de separación de residuos en los que se agrupan los residuos de acuerdo al material del cual están fabricados para su posterior comercialización como materia prima. (Rojas, 2008)

consecuencias de su adecuada o inadecuada gestión son iguales.

Los residuos secundarios, generan residuos en los tres estados de la materia: sólidos, líquidos y gaseosos. Cada uno de ellos representa importantes focos de contaminación al medio ambiente, y dado el proceso por el cual son generados, pueden ser tratados o disminuidos desde la fuente de origen, pero no pueden ser completamente suprimidos.

Por último, los residuos irrecuperables son depositados en el medio ambiente, y el mejor tratamiento que puede darse en la actualidad es el del relleno sanitario,[4] aunque es costoso por la infraestructura necesaria para su instalación, operación y clausura.

En la figura 2 se representa la forma en que funcionan las sociedades industriales, de acuerdo a su entorno físico, su disposición de materia y energía, y la forma en que el mercado, como institución, demanda materias primas que serán convertidas en residuos de forma irremediable, pese a ser sometidos a procesos de reciclaje, todo esto por la Ley de la Entropía. Así, la primera entrada corresponde a la energía proveniente del sol, la cual es la fuente energética que en escala de tiempo humano es inagotable. Esta energía entra al planeta en condiciones tales, que provoca las condiciones necesarias para el desarrollo de la vida y de los recursos naturales. Estos son extraídos para satisfacer las necesidades del mercado, en el cual interactúan familias y empresas. Este mercado produce residuos sólidos de los distintos tipos, que una parte de ellos será reciclada, y otra será dispuesta de forma final. Aquellos que son objeto de reciclaje, volverán a entrar en el mercado, y estos a su vez se convertirán de nuevo en residuos, y en algún momento de su existencia no podrán ser reciclados porque no tendrán las condiciones mínimas necesarias para transformarse en otro bien, y así será dispuesto de forma final. Los residuos orgánicos servirán para nutrir el suelo al ser sometidos a un proceso de degradación biológica como es la técnica de compostaje, para que los productos sean llevados de nuevo al mercado.



1.1

Figura 2. Circulación de los residuos en las sociedades industriales.

El ciclo de vida de la mercancía se encuentra irresolublemente inmerso en el sistema económico, cuyo corazón es el mercado, como un subsistema creado por y para el ser humano, pero estrechamente vinculado y dependiente con su entorno físico natural que representa el planeta Tierra. Todos aquellos residuos que son generados dentro de este, son arrojados al medio ambiente en forma de residuos materiales (materia de alta entropía) y calor disipado (energía de alta entropía).

[4] Obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicional, los impactos ambientales. (Semarnat, 2004) Aunque sólo es una solución de corto plazo, porque en el largo plazo, los sitios de disposición final serán reducidos al mínimo, con lo que se carecerá de espacios suficientes para llevarla a cabo en caso de continuar con la intensidad en la producción, así como las políticas actuales.

La dinámica poblacional a nivel mundial indica una tendencia de concentración en las regiones urbanas (ONU, 2003; citado en Martínez, 2009:33); así, los asentamientos humanos con características rurales tenderán a reducirse, y los centros urbanos tendrán un crecimiento paulatino. De tal manera, se espera un crecimiento de los asentamientos humanos urbanos, que si bien no se convertirán necesariamente en mega ciudades, si tenderán a reunir a la población por el hecho de concentrar las actividades económicas, sociales, políticas y culturales de determinadas regiones.

En el largo plazo, la generación de residuos es creciente en términos absolutos, de tal forma que la disposición final va en aumento mientras que cada uno de los espacios para depositar los residuos sólidos urbanos son más escasos. (Ver figura 3. La línea continua representa el corto plazo y la línea discontinua representa el largo plazo).

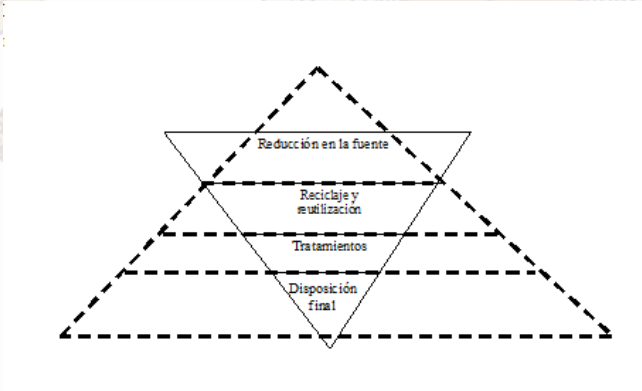


Figura 3. Jerarquía del manejo integral ante un aumento absoluto en la generación de residuos sólidos urbanos ante la carestía de espacios para disposición final.

A su vez, el manejo de residuos sólidos idóneo (Ver figura 4) incluye el servicio de recolección, transporte, tratamiento, recuperación y disposición final de residuos sólidos urbanos, fortalecido con un programa para lograr la reducción en la fuente, es un proceso de producción en el cual la mercancía que se produce es un intangible: la limpieza.

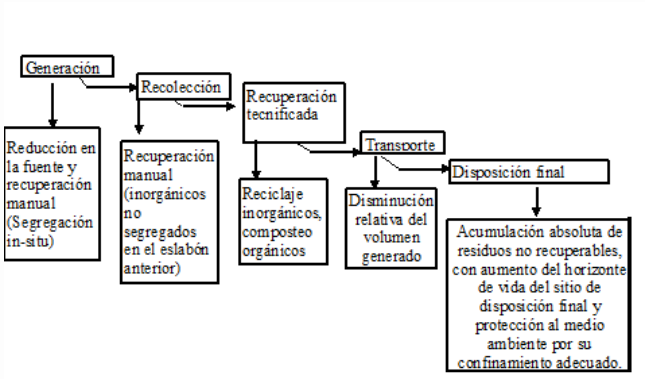


Figura 4. Eslabones del manejo de residuos sólidos idóneo.

Bajo la lógica del costo-beneficio, este servicio puede no ser rentable en la medida en que no se obtiene un beneficio por llevarla a cabo cuando los volúmenes de generación son muy bajos.

Existen distintos medios para obtener una rentabilidad derivada de los residuos sólidos urbanos y de la limpieza: cobro de impuestos, tarifas, multas, cuotas a la disposición final o venta de los residuos acondicionados como materia prima a partir de su reciclaje.

Es necesario establecer un sistema de instrumentos económicos que orienten la generación de residuos sólidos urbanos per-cápita a la baja, y que la administración de los mismos sea realizada por la administración pública, ya que de otra forma, la empresa privada no encontrará incentivo alguno para llevar a cabo la actividad.

Para que el manejo de los residuos sólidos urbanos sea más eficaz, es conveniente crear un esquema en que los residuos se dispongan de forma adecuada para reducir los costos. Esto es, diferenciados por su composición desde su lugar de generación.

7. CONCLUSIONES

Al ampliar al planteamiento del sistema económico con su relación con el medio ambiente introduciendo un proceso más desagregado de los procesos de reciclaje[5] y sus consecuencias, resulta evidente que todo el proceso se encuentra estrechamente interrelacionado en sus partes.

La mercancía al satisfacer la necesidad en cuestión, o bien sin satisfacerla al no llegar al mercado y convertirse en residuo de la producción, habrá cumplido con su verdadero cometido, que es el de hacer crecer la acumulación del poseedor del capital. Ante esta situación, otro capitalista tendrá el incentivo para dedicarse al reciclaje de residuos sólidos cuando exista la oportunidad de obtener ganancias derivadas de esta actividad, cuando la relación costo beneficio sea positiva. Sin embargo, cuando esta relación es negativa, no es conveniente caer en la trampa de buscar producir más residuos para volver rentable la actividad; en vez de ello, es necesario llevar a cabo la valoración de aquellos indicadores que nos ayuden a identificar los beneficios que a la población pueda generarle la implementación de un sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos, ya sea por la administración pública, o bien, por algún tipo de organización surgida desde la organización social con la finalidad de perseguir los objetivos sociales más allá de la obtención de ganancias.

Por una parte, la mejor solución al tema de la generación de residuos sólidos, radica en la reconversión productiva que limite al mínimo indispensable el empleo de todo tipo de materiales, regresando al empleo de aquellos que puedan ser reciclados por medios naturales, lo cual puede lograrse siempre y cuando pueda reducirse la dependencia de bienes externos y que las necesidades puedan satisfacerse de forma local en mayor proporción.

Para llevar a cabo una gestión integral de residuos sólidos tiene que ser planteada por medio de la participación colectiva auspiciada desde la estructura gubernamental junto con la sociedad civil, quienes participarán en la implementación de la reducción y reúso de materiales, y plantearán mecanismos para llevar a cabo procesos de reciclaje. Es decir, una participación conjunta y responsable de dos de los tres sectores de la sociedad: sociedad civil y gobierno, delegando al sector privado la actividad de reciclaje. Pero para que esto acontezca, el tamaño de la población y la cantidad de actividades económicas que se concentran en el asentamiento urbano serán determinantes, ya que una población mayor produce más residuos, y una concentración de actividades económicas mayor provoca la generación mayor de residuos, tanto por las actividades económica mismas, como por la población flotante proveniente de los alrededores que generan y disponen sus residuos en el centro urbano.

RECONOCIMIENTOS

Agradezco a la Dr. Yolanda Trápaga, a la Dra. Neftalí Rojas y a todos aquellos quienes de alguna manera contribuyeron a la elaboración de este trabajo.

REFERENCIAS

Curtis, Elena. (2000) "Biología". Edit. Panamericana. 6ª Edición. Madrid, España.

Karl, Marx. (1998). "El Capital". Tomo I. Vol. I. Edit. Siglo XXI. 22ª Edición. México DF.

Karl, Marx. (1975) "El Capital". Tomo III Versión electrónica tomada de la Edición de Siglo XXI. http://www.ucm.es/info/bas/es/marx-eng/capital3/MRXC3605.htm.

Martínez, Sergio (2009). "La ciudad y el ambiente como un solo sistema: El suelo de conservación y su carácter estratégico para la dinámica urbana Distrito Federal". Tesis de Doctorado. Facultad de Economía. División de Estudios

5 **1.** tr. Someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar. **4.** tr. *Tecnol.* Someter repetidamente una materia a un mismo ciclo, para ampliar o incrementar los efectos de este. Real Academia Española. www.rae.es/rae.html

de Posgrado. UNAM.

Martínez Allier, Joan. (2001) "Economía Ecológica y Política Ambiental". Fondo de Cultura Económica. 2ª Edición. México D.F.

Real Academia Española: www.rae.es/rae.html

Semarnat (2004) 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" Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de Octubre.



Presentación

Antecedentes

Extensos

Sede

Contacto

8. Aspectos financieros y de mercadeo.



Presentación
Antecedentes
Extensos
Sede
Contacto

9. Aspectos de legislación.

- Estándares internacionales para determinar la biodegradabilidad de plásticos: implicaciones y aplicabilidad en México.

Estándares internacionales para determinar la biodegradabilidad de plásticos: implicaciones y aplicabilidad en México

Alethia Vázquez Morillas, Margarita Beltrán Villavicencio y Rosa María Espinosa Valdemar[1]
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.
Ciudad de México, México
email: alethia@correo.azc.uam.mx

Resumen
Los plásticos son materiales muy usados en la industria y la vida cotidiana, pues son resistentes, ligeros, fáciles de fabricar y generalmente inertes en condiciones ambientales. En los últimos años ha surgido en el mundo una gran preocupación con relación a sus efectos en el ambiente, relacionados con la posibilidad de su ingesta por parte de animales y su larga permanencia en el entorno. La Asamblea Legislativa del Distrito Federal, en México, emitió una normativa que prohíbe a los establecimientos comerciales obsequiar bolsas de plástico no biodegradables. Sin embargo, no existen en el país metodologías reconocidas legalmente que permitan evaluar la biodegradabilidad de los plásticos. Más aún, se presenta un gran desconocimiento y confusión sobre términos como degradable, biodegradable, compostable, bioplástico, biobasado y oxobiodegradable. Existen diferentes estándares y normas internacionales relacionados con la evaluación de la biodegradabilidad de los plásticos mediante composteo, tales como el ASTM D–6400 y D-5338, EN 13432, ISO 14855 y AS 4736, que plantean un proceso controlado en laboratorio, para comparar la biodegradabilidad del material estudiado con la de un material de referencia. Este trabajo analiza dichos estándares, a la luz del manejo actual de los residuos sólidos en la Ciudad de México.

Palabras Clave – Plástico, biodegradación, composteo, estandarización.

Abstract
Plastics are widely used in industrial and every day activities, due to its lightness, methods of manufacturing and resistance to chemical and microbiological factors. Recently, much concern has been raised regarding the effect of plastics on the environment, given that they can be ingested by different animals and also remain in the environment for long periods of time. The local congress in Mexico City approved a law which forbids all commercial establishments from providing free plastic bags to customers and clients unless they are biodegadable. Nevertheless, in Mexico no approved standards exist to assess and certify the biodegradability of plastics. In fact, there is confusion regarding terms such as degradable, biodegradable, compostable, bioplastic, biobases and oxo-biodegradable. Various international standards such as, ASTM D–6400 y D-5338, EN 13432, ISO 14855 y AS 4736, presently exist to measure biodegradability of plastics in compost. They are based on a controlled lab scale compost process, which is used to compare the determined material with another material used as a reference. The results are useful especially if the organic fraction is recovered from the solid waste, or if the waste is confined in a biologically active landfill. This project reviews those standards and its applicability in the waste management system in Mexico City.

Keywords – Plastic, biodegradation, composting, standarization

I. INTRODUCCIÓN

Los plásticos son polímeros sintéticos, obtenidos generalmente a partir de hidrocarburos derivados del petróleo. Tienen altos pesos moleculares, son ligeros, resistentes a la corrosión y al ataque microbiológico, insolubles, impermeables y de bajo costo, por lo que son útiles en aplicaciones diversas como la agricultura, fabricación de autopartes, equipos electrónicos, prótesis médicas y artículos

[1] Correos electrónicos : mbv@correo.azc.uam.mx, rmev@correo.azc.uam.mx

de uso cotidiano; sin embargo, una proporción significativa de los plásticos fabricados se emplean en envases y embalajes, generalmente desechables [Scott, 1999]. En México, la industria del plástico representó en 2008 el 17.7% del valor de la producción del sector manufacturero, y dio empleo al 16.5% de los trabajadores del mismo [INEGI, 2009].

EL mayor efecto nocivo en el entorno se relaciona con su disposición, pues permanecen en el ambiente por largos periodos de tiempo. En México, el plástico constituye entre el 6 y el 12% de la masa de residuos sólidos municipales generada, aunque en términos de volumen puede representar el 20% del total [Cristán Frías *et al.*, 2003; SEMARNAT, 2009; Volke Sepúlveda, 1998]. El proceso de degradación de los polímeros sintéticos en el ambiente generalmente involucra dos etapas. En la primera, procesos físicos y químicos como la fricción, la tensión, el calentamiento y la exposición a la luz solar ocasionan la hidrólisis, oxidación o rompimiento de las cadenas, lo que da lugar a fragmentos de menor peso molecular que el polímero original. Cuando los fragmentos alcanzan longitudes metabolizables, comienza la segunda etapa, consistente en la biodegradación por parte de microorganismos u hongos hasta llegar a la mineralización. La biodegradabilidad de un plástico específico se favorece por la presencia de enlaces éster, éter o amida, y está influenciada por la temperatura, el pH, el potencial redox, el contenido de agua y oxígeno, así como por la biodisponibilidad y la existencia de un consorcio microbiano competente [Volke Sepúlveda, 1998]. Entre los productos que se fabrican actualmente es posible distinguir dos grandes grupos de plásticos biodegradables:

Plásticos intrínsecamente biodegradables: Su comportamiento en el ambiente es equivalente al de polímeros naturales como la celulosa y el almidón, en los que la degradación inicia por la hidrólisis, producida generalmente por las enzimas extracelulares de los microorganismos [Palmisano y Pettigrew, 1992]. Se fabrican a partir de derivados del petróleo, o de productos agrícolas como el maíz. Entre ellos se encuentran el Polivinil alcohol (PVOH), el Polihidroxi-butirato (PHB), el Polihidroxi-butiratovalerato (PHBV), el Policaprolactano (PCL), el Poliácido láctico (PLA), el Polibutileno-succinato-tereftalato (PBST) y el (Polibutileno-adipato-tereftalato PBA)T [Ojeda, 2010], entre otros. La degradación de estos compuestos da como resultado el aumento de la biomasa microbiana y la producción de CO_2 (en condiciones aerobias) o de metano (en condiciones anaerobias). Se ha demostrado ampliamente la degradación de plásticos intrínsecamente biodegradables y copolímeros en condiciones controladas de composteo y de simulación de relleno sanitario, en ambientes aerobios y anaerobios [Greene, 2007; Jayasekara *et al.*, 2003; Kunioka *et al.*, 2009; Mohee *et al.*, 2008, Shah *et al.*, 2008]. Para el PLA, se ha reportado una biodegradación superior al 80% en procesos reales de composteo [Greene, 2007; Kale *et al.*, 2007].

Plásticos oxo-degradables: Se fabrican a partir de polímeros convencionales, agregando en su formulación aditivos que promueven la oxidación. Su biodegradación requiere de un proceso inicial de degradación física, generalmente promovida por la luz solar, el estrés mecánico o la temperatura, y de un proceso subsiguiente de composteo en condiciones controladas. Los aditivos oxo, desarrollados a base de Fe o Mg, han sido empleados en la fabricación del Polietileno de alta y baja densidad (PEAD y PEBD), Polipropileno (PP), Poliestireno (PE), y Politereftalato de etileno (PET), entre otros. Se ha demostrado la mineralización del 12.4% polietileno oxo-biodegradable, previamente sometido a intemperismo, después de tres meses de composteo controlado en laboratorio [Ojeda *et al.*, 2009], y el crecimiento directo de microorganismos en plásticos previamente sometidos a termodegradación y humedad [Scott, 1999; Bonhomme *et al.*, 2003]. Sin embargo, estudios previos demuestran que la tasa de biodegradación disminuye signifi-

cativamente si el composteo se realiza sin una etapa previa de oxidación física [Agamuthu y Faizura, 2005].

La Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal se modificó con el fin de disminuir el uso de las bolsas de plástico, así como fomentar el uso de materiales con menores impactos en el ambiente, por lo que prohíbe que los establecimientos mercantiles proporcionen a sus clientes bolsas de plástico, a menos que éstas sean biodegradables [GDF, 2009]. Sin embargo, se carece en el país de normas que permitan evaluar la biodegradabilidad de los plásticos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente análisis comparativo se realizó a partir de las siguientes normas y estándares:

Estándares que establecen requisitos y características para plásticos composteables

- Estándar Europeo EN 13432: Requerimientos para empaques recuperables a través de composteo y biodegradación – Esquema de prueba y criterio de evaluación para la aceptación final de empaques
- Estándar Australiano AS-4736-2000: Plásticos biodegradables – Plásticos biodegradables adecuados para composteo y otros tratamientos microbianos
- Especificación ASTM D-6400: Especificación estándar para plásticos compostables

Métodos de prueba

- Estándar internacional ISO 14855: Determinación de la biodegradación aerobia final de materiales plásticos bajo condiciones controladas de composteo – Método por análisis de la evolución de CO2
- Método de prueba ASTM D-5338: Método de prueba estándar para la determinación de biodegradación aerobia de materiales plásticos bajo condiciones controladas de composteo

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Requisitos y características de plásticos composteables

Un plástico composteable es aquel susceptible de sufrir degradación, biológica y abiótica, en un proceso de composteo, dando lugar a la formación de CO_2, H_2O, sales minerales y biomasa. Existen estándares nacionales e internacionales que establecen los requisitos y características que deben cumplir los plásticos para ostentarse como composteables; el más extendido es el estándar europeo EN 13432, aplicable en toda la Comunidad Europea. Para avalar la composteabilidad de un plástico, plantea cinco elementos a cubrir: caracterización, desintegración, biodegradabilidad, calidad de la composta obtenida y posibilidad de que el usuario reconozca la característica de biodegradabilidad por composteo del material de prueba. Los requisitos y valores que establece se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Requisitos para plásticos composteables establecidos en el estándar europeo EN 13432.

Requisito	Especificaciones
Características	> 50 % de sólidos volátiles, metales pesados por debajo de límites establecidos
Biodegradabilidad	>90% de carbono de la muestra convertido en CO_2, en un periodo máximo de 6 meses, de acuerdo a la ISO 14855
Desintegración	< 10 % de residuos con tamaño > 2 mm, después de 12 semanas de composteo

Efectos en la composta	Biomasa y tasa de germinación de dos especies vegetales > 90% de la generada por un sustrato de referencia

El estándar australiano, AS-4736-2000, establece requisitos equivalentes al EN 13432, aunque establece especificaciones más estrictas: exige la evaluación de la biodegradabilidad en condiciones aerobias y anaerobias –a diferencia del anterior, que sólo exige aerobias-, establece que la desintegración se compruebe de forma visible, plantea los parámetros que hay que determinar para la caracterización de la composta, y la posibilidad de evaluar la ecotoxicidad en lombrices.

El estándar ASTM 6400, de origen norteamericano, por el contrario, establece como requisitos únicamente la desintegración, biodegradabilidad y calidad de la composta, sin incluir la caracterización del material. Adicionalmente, establece un requisito menor, de tan sólo el 60% del CO_2 generado, en el proceso de biodegradación.

3.2 Métodos de prueba

Las especificaciones europea y australiana de compostabilidad establecen como método de prueba el estándar internacional ISO 14855. Éste plantea el desarrollo de un proceso de degradación por composteo en condiciones controladas de laboratorio. Para desarrollarlo, la muestra se mezcla, en un radio másico 1:6, con un inóculo de composta madura. Los materiales composteables se biodegradan en presencia del inóculo, para transformarse en CO_2, vapor de agua y biomasa. La producción de CO_2 es utilizada como el principal indicador de la ocurrencia del proceso biológico.

La prueba debe montarse en frascos o recipientes que permitan la entrada de un flujo de aire saturado y libre de CO_2, para garantizar condiciones aerobias. El flujo continuo de aire permite el desplazamiento del CO_2 producido, que puede medirse de forma directa –por cromatografía o infrarrojo-, mediante su captura en una solución básica, o por métodos gravimétricos, al absorberlo en una columna cuyo peso se monitorea. El experimento se desarrolla a 58 ± 2°C, en la oscuridad o luz difusa, por una duración no mayor a 6 meses. El protocolo experimental plantea la necesidad de construir triplicados para el material bajo estudio, blancos conformados únicamente por composta y controles positivos conteniendo celulosa grado cromatrográfico como material de referencia. La producción acumulativa del gas en el material de prueba es contrastada con la cantidad máxima teórica producible a partir de la masa inicial del mismo, y con la del material de referencia.

La norma establece la posibilidad de sustituir el inóculo de composta por vermiculita previamente activada, lo que permite desarrollar un balance de masa del material bajo estudio.

El método de prueba ASTM equivalente es el D-5338, aunque similar en muchos aspectos, es menos flexible que el ISO 14855. No incluye la posibilidad de uso de un inóculo alternativo, ni menciona la posibilidad de evaluar la producción de CO_2 mediante gravimetría. Además de lo anterior, incluye la construcción de controles negativos, que contienen polietileno como sustrato no biodegradable. La tabla 2 resume las diferencias entre ambos métodos.

Tabla 2. Principales diferencias entre los métodos de prueba ISO 14855 y ASTM D-5338, para composteo de plásticos

ISO 14855	ASTM D-5338
Pemite el uso de un inóculo alternativo	Sólo plantea el uso de composta madura como inóculo
Abre la posibilidad para el análisis gravimétrico del CO_2	Considera únicamente la medición directa de CO_2 o la captura en solución básica

Únicamente exige un control positivo y un blanco	Adiciona un control negativo con polietileno
Plantea una incubación de 6 meses	Plantea una incubación inicial de 45 días

3.3 Manejo de los residuos en el Distrito Federal, México.

De acuerdo con el Inventario de Residuos Sólidos del DF en 2008, de las 12349 toneladas de residuos sólidos municipales generadas diariamente, tan sólo el 0.8% llega a las 5 plantas de composteo establecidas en las delegaciones y en el Bordo Poniente, a pesar de que los residuos orgánicos constituyen la tercera parte de la generación. Se cuenta con una capacidad instalada de 80,151 ton/año. La mayoría de los residuos que se compostean provienen de actividades de poda, pues a pesar de que la ley local de residuos prescribe la separación de los mismos, ésta no ha logrado afianzarse entre los usuarios y en los mismos sistemas de gestión.

IV. CONCLUSIONES

La normatividad internacional relacionada con la biodegradabilidad de los plásticos establece especificación y protocolos experimentales para la evaluación de la composteabilidad de los mismos. En general, las especificaciones consideran la desintegración del material, su transformación en CO_2 y la ausencia de efectos adversos en la composta resultante. Los métodos de prueba, por su parte, parten de un proceso controlado de composteo en laboratorio. Son determinaciones representativas si el sistema de manejo de residuos implica la segregación de la fracción orgánica y su posterior composteo, o el empleo de un relleno sanitario biológicamente activo.

Las especificaciones y métodos de prueba que se analizaron son aplicables únicamente a plásticos biodegradables, que pueden someterse a procesos de composteo sin una etapa previa de oxidación. En México, la mayoría de los plásticos que se ostentan como biodegradables son en realidad oxo-biodegradables, por lo que no están diseñados para cumplir con esta normatividad. La aceptación de los plásticos oxo requeriría, por tanto, del desarrollo de normas específicas que contemplen una etapa previa de degradación por medio de temperatura, UV o fricción.

Dadas las condiciones actuales de manejo de los residuos –sin segregación adecuada-, el empleo de los estándares y métodos de prueba de composteo permitirá únicamente comparar materiales, para definir si uno u otro presenta propiedades que lo hacen más susceptible de biodegradación, sin que esto pueda extrapolarse hacia una posible degradación en las condiciones reales de disposición de residuos.

En este sentido, la biodegradabilidad de un residuo –en este caso, las bolsas de plástico- es un factor relevante pero no el más trascendental en la búsqueda de soluciones sustentables de manejo de residuos. Estas tendrían forzosamente que hacer cumplir las disposiciones sobre segregación, recuperación y tratamiento, además de prohibir o favorecer ciertos materiales. Ahora bien, aunque es cierto que la obligatoriedad de contar con plásticos biodegradables no solucionará el problema de los residuos en la Ciudad de México, resulta claro que la Ley aprobada ha puesto el tema en la mira del gobierno, los medios, la opinión pública y los académicos. En la medida en que se informe responsablemente y se articulen este tipo de medidas con los otros elementos de la gestión de residuos, será posible aspirar a una evolución de la misma que permita observar sus posibles beneficios.

REFERENCIAS

Scott, G., *Polymers and the environment*. RSC Paperbacks. 1999, Manchester: The Royal Society of Chemistry. 132.

INEGI, *Encuesta industrial mensual 1994-2008. Consulta interactiva*. 2009, Instituto Nacional de Estadística y Geografía

Cristán Frías, A., I. Ize Lema y A. Gavilán García, *La situación de los envases de plástico en México.* Gaceta Ecológica del Instituto Nacional de Ecología, 2003. Octubre-diciembre (069): p. 67-82.

SEMARNAT, *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales*. 2009, Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 380.

Volke Sepúlveda, T.L., *Los plásticos en la actualidad y su efecto en el entorno.* Ciencia y Desarrollo, 1998. 24(139): p. 54-61.

Palmisano, A.C. y C.A. Pettigrew, *Biodegradability of Plastics.* BioScience, 1992. 42(9): p. 680-685.

Ojeda, T.F.M., *Polímeros oxo-biodegradables, presentada en el Encuentro Técnico Comercial del Plástico*. 2009: Ciudad de México

Greene, J., *Biodegradation of compostable plastics in green yard-waste compost environment.* Journal of Polymers and the Environment, 2007. 15(4): p. 269-273.

Jayasekara, R., I. Harding, I. Bowater y G. Lonergan, *Biodegradability of a selected range of polymers and polymer blends and standard methods for assessment of biodegradation.* Journal of Polymers and the Environment, 2005. 13(3): p. 231-251.

Kunioka, M., F. Ninomiya y M. Funabashi, *Biodegradation of Poly(butylene succinate) Powder in a Controlled Compost at 58 degrees C Evaluated by Naturally-Occurring Carbon 14 Amounts in Evolved CO2 Based on the ISO 14855-2 Method.* International Journal of Molecular Sciences, 2009. 10(10): p. 4267-4283.

Mohee, R., G.D. Unmar, A. Mudhoo y P. Khadoo, *Biodegradability of biodegradable/degradable plastic materials under aerobic and anaerobic conditions.* Waste Management, 2008. 28(9): p. 1624-1629.

Shah, A.A., F. Hasan, A. Hameed y S. Ahmed, *Biological degradation of plastics: A comprehensive review.* Biotechnology Advances, 2008. 26(3): p. 246-265.

Kale, G., R. Auras, S.P. Singh y R. Narayan, *Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions.* Polymer Testing, 2007. 26(8): p. 1049-1061.

Ojeda, T.F.M., E. Dalmolin, M.M.C. Forte, R.J.S. Jacques, F.M. Bento y F.A.O. Camargo, *Abiotic and biotic degradation of oxo-biodegradable polyethylenes.* Polymer Degradation and Stability, 2009. 94: p. 965-970.

Bonhomme, S., A. Cuer, A.M. Delort, J. Lemaire, M. Sancelme y G. Scott, *Environmental biodegradation of polyethylene.* Polymer Degradation and Stability, 2003. 81(3): p. 441-452.

Agamuthu, P. y P.N. Faizura, *Biodegradability of degradable plastic waste.* Waste Management & Research, 2005. 23(2): p. 95-100.

GDF, *Decreto por el que se adicionan diversas disposiciones de la Ley de Residuos, 2009*

Estándar Europeo EN 13432: Requerimientos para empaques recuperables a través de composteo y biodegradación – Esquema de prueba y criterio de evaluación para la aceptación final de empaques

Estándar Australiano AS-4736-2000: Plásticos biodegradables – Plásticos biodegradables adecuados para composteo y otros tratamientos microbianos

Especificación ASTM D-6400: Especificación estándar para plásticos compostables

Estándar internacional ISO 14855: Determinación de la biodegradación aerobia final de materiales plásticos bajo condiciones controladas de composteo – Método por análisis de la evolución de CO_2

Método de prueba ASTM D-5338: Método de prueba estándar para la determinación de biodegradación aerobia de materiales plásticos bajo condiciones controladas de composteo

3er Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos

9, 10 y 11
Junio, 2010

3er encuentro de expertos en

9, 10 y 11
Junio
2010

RESIDUOS
SÓLIDOS

10ª SEMANA DEL AMBIENTE
11° FORO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentación

Antecedentes

Extensos

Sede

Contacto

10. Educación y entrenamiento.

- Patrones de comportamiento del consumidor: una aplicación de la lógica difusa.
- Actitudes de estudiantes de ingeniería hacia el manejo de residuos sólidos.
- El análisis del ciclo de vida (ACV) como herramienta interdisciplinaria en las licenciaturas de la UAM.
- Educación Ambiental sobre reciclaje en el Barrio Villa Mónica del distrito de Santa Marta D.T.C.H -Magdalena-Colombia.
- Institucionalización del promotor de reciclaje en los sistemas municipales de prevención y gestión integral de residuos sólidos.
- El manejo de residuos en las instituciones de educación superior: el caso de las universidades en Guanajuato.

Patrones de comportamiento del consumidor: Una aplicación de la lógica difusa.

Wendolyn Elizabeth Aguilar Salinas, Sara Ojeda Benítez y Juan Ramón Castro Rodríguez
Instituto de Ingeniería y Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California
Mexicali, Baja California, México
Email: tunny23@gmail.com, sara.ojeda.benitez@gmail.com, jrcastror@hotmail.com

Resumen

Debido a la gran cantidad de residuos sólidos que se generan actualmente en las ciudades, es necesario crear estrategias para aminorar su impacto en el ambiente. Por tal motivo, es indispensable conocer los patrones de comportamiento de los consumidores antes, durante y después de la compra, analizando su comportamiento e identificando cuales son los factores que lo llevan a comportarse de forma protectora, relacionando las consideraciones ecológicas con la decisión de compra y generación de residuos por parte del consumidor. Por lo que se requiere del estudio del perfil del consumidor, así como de aquellas características que hacen que éste se comporte de manera respetuosa con el medio ambiente. Con tal propósito, en este trabajo se analizan los factores asociados al comportamiento del consumidor en la ciudad de Mexicali, identificando las variables que mejor determinen un comportamiento protector, para obtener los patrones de comportamiento generados por esta población. Para la recopilación de la información, se aplicó un instrumento en el que se incluyen variables sociodemográficas, psicográficas, hábitos de consumo, prácticas proambientales, y de información, así como conocimiento medioambiental, que permitan generar los patrones de consumo. En el análisis de resultados, se aplicó como herramienta la lógica difusa, para determinar los distintos comportamientos de los habitantes de esta ciudad.

Palabras Clave – Consumidor, Comportamiento Ambiental, Patrones de Comportamiento, Lógica Difusa.

Abstract

Due to the great amount of solid wastes generated at the moment in the cities, it is necessary to create strategies to lessen its impact on the environment. By such reason, it is indispensable to know the consumers behavior, before, during and after the purchase, analyzing its behavior and identifying the factors that affect the consumer behavior; relating the ecological considerations to the purchase decision and generation of solid wastes. Accordingly, it is required to study the consumer profile, as well as its behavior and its interaction with the environment. The factors associated to the consumer behavior in the Mexicali city are analyzed, identifying the variables that better determine a protective behavior, to obtain the behavioral patterns generated by this population. For the information compilation, a tool was development and applied to evaluate sociodemographic and psicographics variables, consumption habits, proenvironmental practices, as well as environmental knowledge, that allows to generate the consumption patterns. The fuzzy logic was applied, to determine the different behaviors of the city inhabitants.

Keywords – Consumer, Environmental Behavior, Behavioral Patterns, Fuzzy Logic.

I. INTRODUCCIÓN

El medio ambiente se ve constantemente amenazado por la acción humana, por ello es importante determinar el comportamiento de cada individuo, ya que cada factor que lo motiva a desarrollar un determinado comportamiento, es un proceso de concienciación, respeto y valor, que permite reducir la cantidad de residuos sólidos que genera, aminorar su impacto y evitar el deterioro del medio ambiente. Por lo que es importante, hacer conciencia sobre la problemática actual, e identificar la intención y conducta de cada individuo, y la relación de éste con su entorno.

Dentro de la problemática de la generación de residuos, intervienen muchas características que demuestran ser relevantes en el proceso de generación de residuos. Desde el momento de la compra, se facilita la identificación de distintos tipos de factores que mueven al individuo a la formación de una determinada conducta ambiental, entre las cuales se encuentran las variables sociodemográficas, psicográficas, y de información y conocimiento medioambiental, que mediante sus relaciones e interacciones, permitirán identificar el comportamiento que sigue el consumidor.

Abordar la volubilidad, la insaciabilidad, la impredecibilidad de los consumidores y su continuo desencanto frente a las distintas ofertas que se les hace, exige la obligación de penetrar su mundo interior para explicarse o al menos para dimensionar, las verdaderas motivaciones que los inducen a actuar (Rojas y Ramírez, 2001). El consumo responsable promueve la moderación de nuestro consumo como una forma de reducir los efectos de sobreexplotación del ambiente; y por el otro, la reutilización y el reciclaje tanto a nivel personal y comunitario como a nivel industrial. El consumo responsable implica un compromiso mayor por parte del consumidor que no sólo opta por un producto frente a otros por sus características, sino además, entiende que el dinero que entrega a cambio de dicho producto favorecerá a un grupo determinado, con las prácticas productivas, sociales y ecológicas que ello acarrea (Aguirre, 2005).

Actualmente existe una gran variedad de modelos que tratan de explicar el funcionamiento del comportamiento del consumidor, todos llegando a la conclusión de que hay características específicas que se deben de cumplir para llegar a que este sea cada vez más protector. Para empezar a estudiar los efectos que tienen en el medio ambiente los comportamientos de los consumidores, hay que enfocarnos en establecer un marco de referencia para analizar sus patrones de comportamiento y los factores que influyen en ellos.

Para determinar los factores que debieran ser analizados, se tomó como referencia un nuevo modelo desarrollado en esta investigación (Figura 1), basado en los modelos de Wier, Block, Jensen, Pedersen, Keiding y Munksgaard (2005), Barr, Ford y Gilg (2003), Bigné (1997), quienes desarrollaron técnicas aplicables a esta investigación mediante el manejo del comportamiento del consumidor ecológico, así como otros modelos de comportamientos basados en las actitudes de Katz y Stotland (1959), Azjen y Fishben (1980), y Schifter y Azjen (1985). En el modelo teórico del comportamiento ambiental del consumidor, se plantea como punto principal, el comportamiento del consumidor y su relación con el medio ambiente, mediante siete tipos de variables: sociodemográficas, psicográficas, de conocimiento medioambiental, hábitos de consumo y prácticas proambientales, así como los factores externos que modifican sus comportamientos, como pueden ser las variables situacionales y ambientales.

La relación principal del modelo se centra en la generación de las variables psicográficas, las cuales son el motor de cualquier tipo de comportamiento y en las que se incluyen la actitud y las variables personales, que permitirán discernir los procesos mentales por los cuales se rige el individuo en el momento de la compra. Por lo cual, debemos de cuidar a aquellos factores que inducen a la persona a tener dicha forma de pensar, como lo podrán ser su estilo de vida, su personalidad, y sus propias actitudes.

Para complementar las características mentales del consumidor, incorporaremos al proceso las variables de información y conocimiento medioambiental, que le proveerán al individuo las bases para desarrollar la intención que lo mueve a comportarse de cierta manera.

Aunado a la intención del consumidor, existen otro tipo de variables que influyen en el individuo para que este se comporte de manera respetuosa con el medio ambiente.

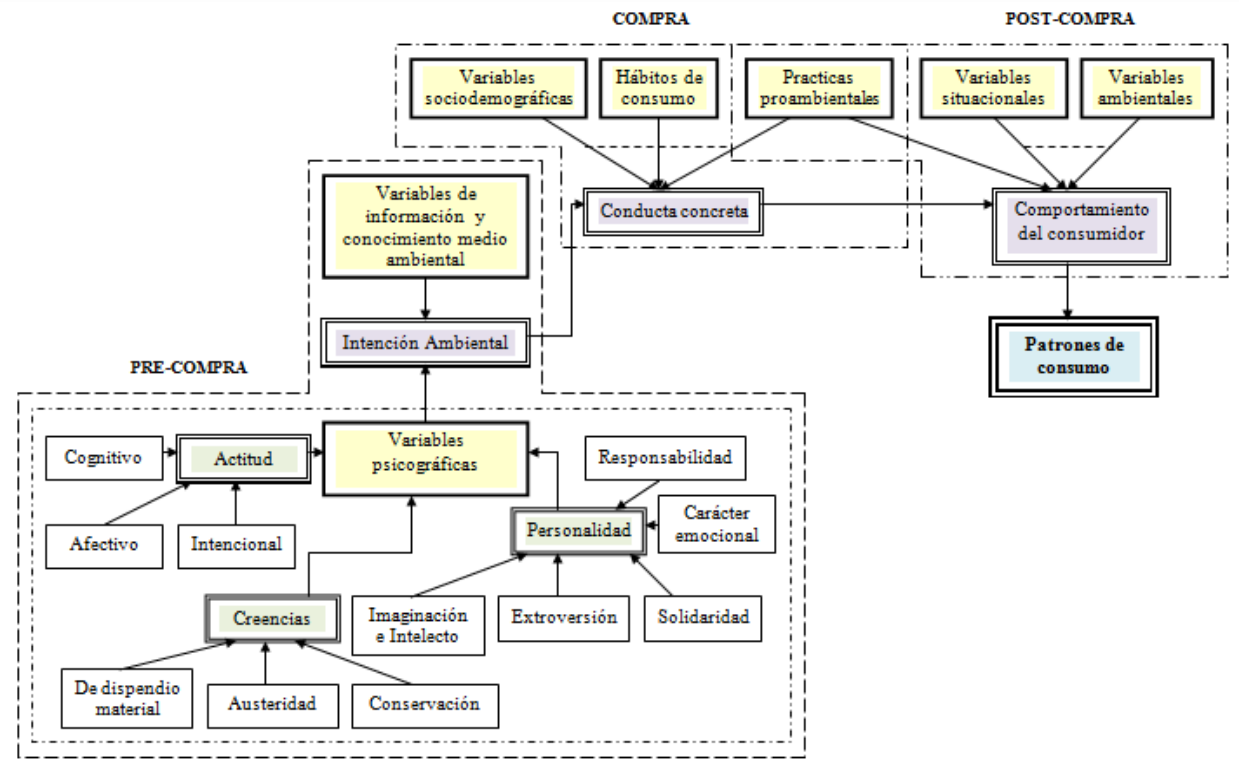


Figura 1. Modelo Teórico del Comportamiento Ambiental del Consumidor.

Las variables sociodemográficas, los hábitos de consumo y las prácticas proambientales, son factores que arrojan lo que hace el consumidor en el momento de la compra. Esto nos puede llevar a verificar, si en realidad el consumidor actúa de la misma forma en la piensa.

Cuando reconocemos una cierta forma de conducta entre los consumidores, podemos establecer ciertos patrones de comportamiento que nos ayuden a analizar a estos desde un enfoque global, para esquemas con las mismas características. Pero, debemos de tomar en cuenta, que el consumidor no sólo se rige en el momento de la compra por una conducta ya desarrollada, sino que para que éste desarrolle un comportamiento completo, deben de interactuar con él, las variables situacionales y ambientales, que puedan modificar su comportamiento en el momento de realizar el acto de la compra, en la utilización del producto y al desecharlo.

Dichos patrones de consumo, pueden ayudar a reconocer el tipo de individuos que tienen una actitud, conducta o un comportamiento más protector hacia el medio ambiente. Y de esta manera, poder encauzar a aquellos que no lo son por medio de estrategias directas al consumidor, que ayuden a disminuir el impacto de los residuos generados en el medio ambiente, basadas en su comportamiento de compra y consumo, lo cual podría aminorar la destrucción que le ocasionamos al medio ambiente, ya sea, por medio de la compra de productos ecológicos o de menor impacto, o debido al buen manejo de sus residuos.

Por lo que, debido a la complejidad de análisis de cada uno de estos factores, esta investigación se centrará en el proceso de la

pre-compra (Figura 2), buscando establecer cómo influyen distintos factores en la intención que mueve al comportamiento del consumidor en el problema de generación de residuos sólidos.

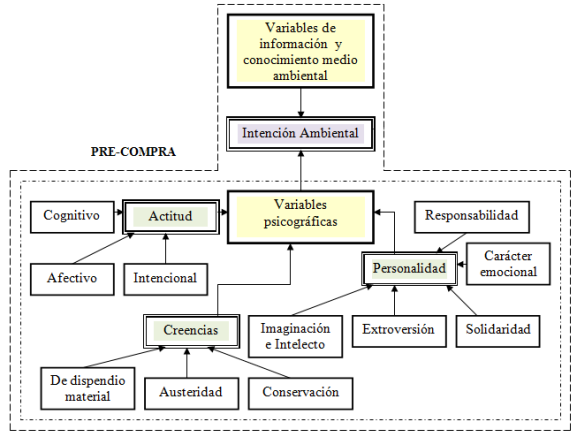


Figura 2. Factores involucrados en el comportamiento ambiental del consumidor, en la etapa de la pre-compra.

II. MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó en la ciudad de Mexicali, B.C., México (Figura 3), por ser una ciudad fronteriza, que cuenta con una gran diversidad cultural, y que se ha dado a conocer por su atractivo laboral. Dicho estudio se llevó a cabo con una muestra de las viviendas de la ciudad, lo que ayudó a conocer el compromiso y la responsabilidad que siente la población con su entorno, y así crear estrategias que faciliten la promoción de prácticas para la mejora del medio ambiente.

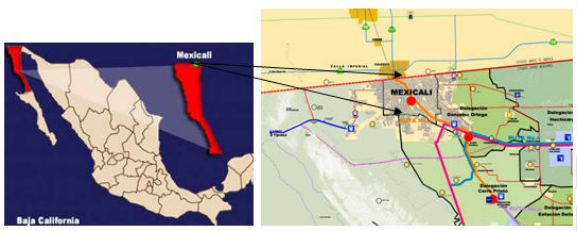


Figura 3. Localización de la ciudad de Mexicali, Baja California en México

Se desarrolló una investigación cualitativa, a través de un instrumento que contenía variables socioeconómicas y demográficas, sobre la conducta de reciclaje, la generación de residuos sólidos domiciliarios, la compra de productos ecológicos, las tendencias de consumo, actitudes, y grado de conocimiento e información sobre aspectos medioambientales, entre otros, basados en la escala de comportamiento ecológico, escala de creencias ambientales y escala que mide las actitudes, entre otras. La medición se realizó con una escala Likert de cinco puntos (1 = Totalmente en desacuerdo hasta 5 = Totalmente de acuerdo). Los ítems se encontraron distribuidos en siete factores principales basados en los variables anteriormente mencionadas, que midieron las características sociodemográficas del individuo, sus hábitos de consumo y frecuencia, el desarrollo de prácticas proambientales de reciclaje, reuso y separación, la actitud del consumidor hacia el medio ambiente, la responsabilidad que siente con su entorno, estilo de vida y manejo de residuos, personalidad y variables de consumo, y sus conocimientos sobre el medio ambiente.

Para el análisis de la información, fue necesaria la generación de un modelo difuso, que proporcionó la pauta para dicho análisis, donde se utilizaron todas las variables del modelo y sus correspondientes funciones de membresía, mediante un sistema de lógica difusa (FLS) non-singleton tipo-1 (Figura 4), en el cual las entradas fueron modeladas como números difusos, que podían ser usados para manejar las incertidumbres que ocurren cuando los datos de entrada son inciertos y las variables de tipo lingüístico.

Los sistemas basados en lógica difusa contienen cuatro elementos: una fuzzificación, reglas difusas, un motor de inferencia y un defuzzificador, que se

encuentran interconectados. Una vez establecidas las reglas, un FLS puede ser utilizado para trazar una ruta desde las entradas hasta las salidas.

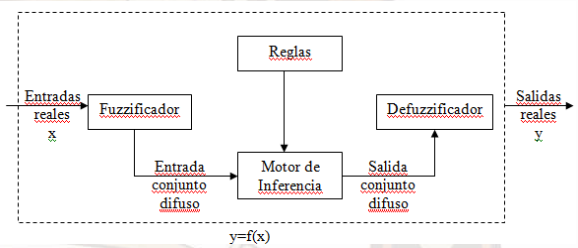


Figura 4. Sistema de Lógica Difusa (FLS)

Para continuar con el diseño, se manejo una distribución gaussiana para la función de membresía, mediante la ecuación $\mu_{X_i}(x_i) = \exp[-(x_i - x_i^{'})^2 / 2\sigma^2]$ basada sobre un estimado del tipo y cantidad de ruido presente.

Para el análisis de la información se utilizó el programa MATLAB 7.9 integrando la lógica difusa en el procedimiento, mediante las técnicas de Sugeno. En el cual, se identificaron cada una de las variables de entrada y cada una de las variables de salida generadas en el sistema, y sus respectivas funciones de membresía. Para el caso de la variable Intención Ambiental, se identificó que la actitud, la creencia y el conocimiento medioambiental son las variables determinantes para poder generarla, por medio de los ítems que constituyen a cada uno de estos factores.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados muestran que la mayor parte de la población no es ignorante con lo que respecta al conocimiento de productos contaminantes, así como al desarrollo de actitudes y actividades que permitan mejorar su entorno. Sin embargo, es difícil encontrar una ruta que determine totalmente el comportamiento de un consumidor, por lo que hay que identificar claramente cada una de las variables que demuestran llevar al consumidor a realizar comportamientos de conservación del medio ambiente, por ello es importante establecer las relaciones de cada factor involucrado en la pre-compra, ya que esta forma el eje central de la generación de un comportamiento.

Para la generación de una determinada intención ambiental, es necesario evaluar todos los factores relacionados a que el consumidor tome una decisión de compra con una intención positiva, valorando cada uno de estos e identificando aquellos que conduzcan a un comportamiento ecológico.

El primer factor a analizar son las actitudes, éstas describen un nivel de personalidad específico. Este perfil influye en el consumidor para que muestre una actitud positiva o negativa hacia el medio ambiente, ya que están directamente relacionadas con el comportamiento de los individuos (Allport, 1935). Por lo cual, es necesario conocer cada uno de los elementos que influyen en las actitudes a desarrollar un tipo de comportamiento. Para ello retomaremos los conceptos de cognitivo, afectivo e intencional, para su manejo.

En la figura 5, se definen las variables que miden la actitud, según su grado de pertenencia, actitud cognitiva (AC), actitud afectiva (AA) y actitud conductual (AI), con las cuales, se encontró que en la población estudiada tiene un grado más elevado de actitud afectiva e intencional sobre la conservación del medio, que de actitud cognitiva.

El modelo difuso se obtuvo con las variables asociadas a la actitud. Esta variable se encontró entre los valores de 1 a 4, no se encontraron amas de casa que se ubicaran con ausencia de actitudes positivas sobre la

conservación del medio ambiente. Cabe aclarar, que los niveles manejados en esta investigación son Positivo, Realista, Indiferente, Pasivo y Negativo, tomando valores de 1 a 5 respectivamente para cada factor, y que serán de ayuda para la valorización de cada uno de los factores que serán estudiados.

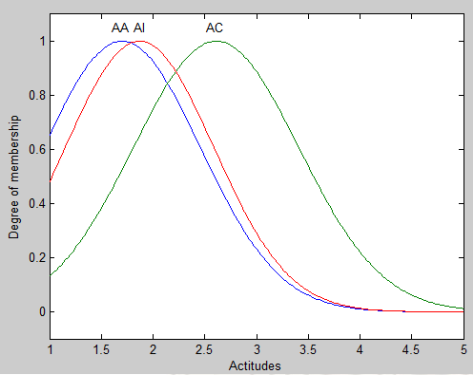


Figura 5. Variabilidad en el grado de membresía para cada una de las actitudes

En las figuras de la 6 a la 8 se presenta la tendencia del comportamiento asociado a la variable actitud en sus tres dimensiones: cognitiva, afectiva y conductual. Se observa que los tres componentes de las actitudes para los individuos de esta ciudad, son diversos. Cada uno de ellos, muestran un comportamiento distinto con respecto a la generación de una actitud. Pero se puede distinguir que el componente conductual de la actitud (Figura 7) es predominante. A diferencia de lo encontrado con la actitud intencional (Figura 8), en ésta se encontró que las personas muestran una actitud positiva. Sin embargo, es importante hacer notar, que a pesar de que la actitud intencional varia en niveles desde pasivo a positivo, la actitud siempre se encuentra en un nivel alto de realización. En cuanto al componente afectivo de la actitud (Figura 9), se encontró que la población muestra un alto grado afectivo por las cuestiones ambientales, centrándose en un nivel realista de actitud, para cualquier nivel de afecto.

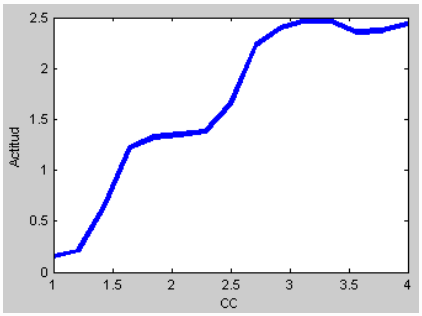


Figura 6. Tendencia de la variable actitud conductual

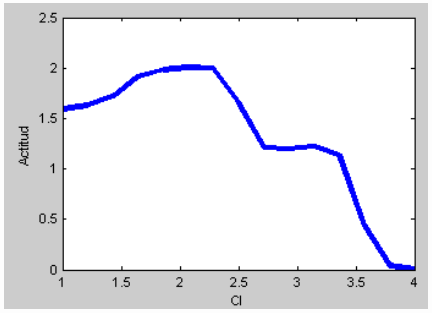


Figura 7. Tendencia de la variable actitud intencional.

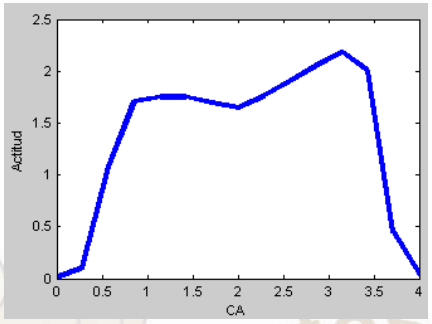


Figura 8. Tendencia de la variable Actitud Afectiva

En la figura 9, se observa que la variable actitud en la población estudiada, alcanza como grado máximo el Positivo, y como grado mínimo, el Pasivo.

Al relacionar cada una de las variables, se observa que el nivel de actitud más positivo se encuentra cuando existe una alta actitud afectiva (CA), pero baja actitud cognitiva (CC), y viceversa, o cuando se encuentra un bajo nivel de actitud cognitiva, pero alto en actitud conductual (CI). También se encontró que la relación entre el componente afectivo y la intención promueve actitudes positivas, encontrándose en los niveles más altos de realización.

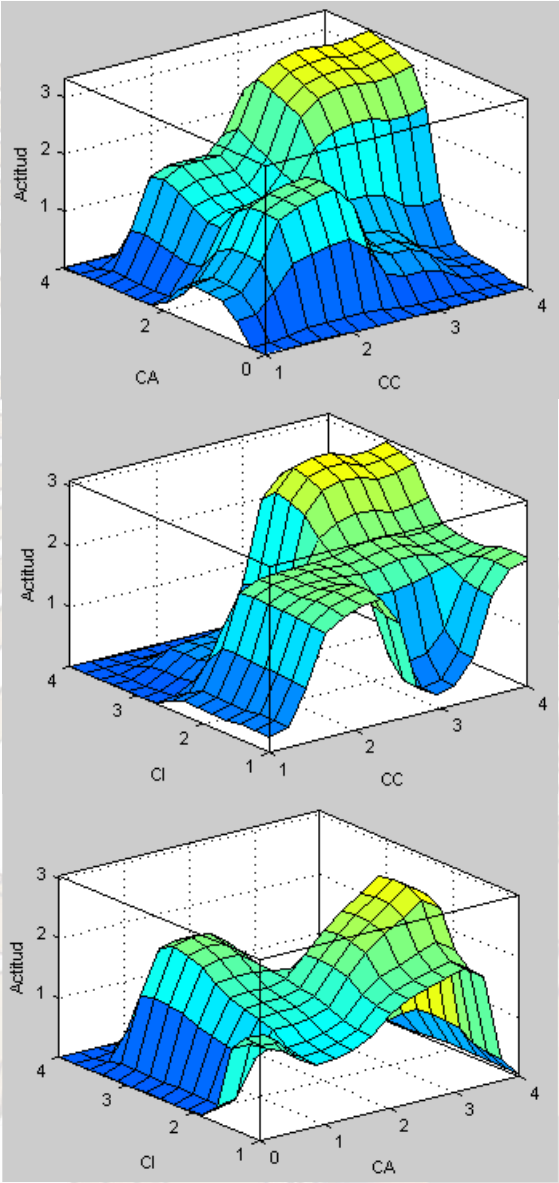


Figura 9. Patrón de comportamiento de la variable Actitud

Los resultados reflejan que en los tres componentes de la actitud, la población estudiada muestra indiferencia por la conservación del medio ambiente y el nivel más bajo de realización. Y que al relacionar estos tres componentes (Figura 10), se observa una clara interacción entre ellas, en la cual, al aumentar la actitud cognitiva y siendo más positiva, los otros dos componentes de la actitud, lo afectiva y lo conductual, también aumentan. De la misma manera, una actitud cognitiva negativa, también influye en desarrollar una afectiva o conductual, negativa. Aunque se demuestra que la actitud afectiva es la más positiva para los miembros de esta población.

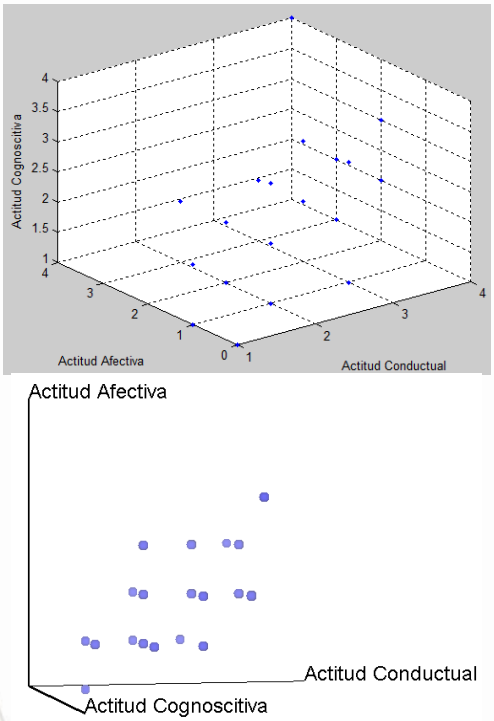


Figura 10. Relación entre variables para inferir la conducta a partir de las actitudes

Otra de las variables predictoras de un comportamiento protector del ambiente, son las creencias, ya que promueven al individuo a desarrollar una determinada intención de conducta. Para lo cual serán analizadas las creencias de dispendio material, austeridad y de conservación, que aunado a otros factores como el conocimiento o los hábitos de consumo, lo llevan a desarrollar una conducta concreta. La variabilidad con la que se manejan las creencias para esta población, se encuentra en la figura 11, en la cual se denota que la creencia de austeridad (CA) es la más valorada por los individuos al momento de generar una intención ambiental en la compra, seguida por la creencia de conservación (CC) y finalizando con la

creencia de dispendio material (CM), como la menos utilizada.

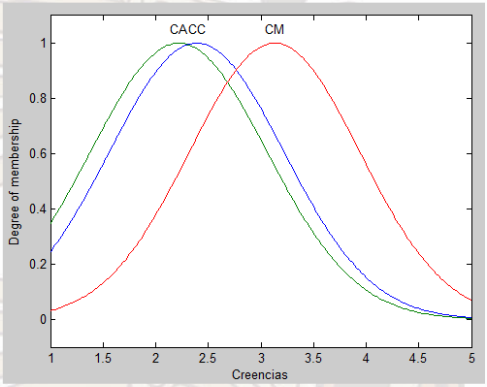


Figura 11. Variabilidad en el grado de membresía por cada una de las creencias

Con relación al comportamiento de las variables que influyen en las creencias, se encontró que en el comportamiento del consumidor las creencias que manifiesta no se ubican en el nivel negativo. Se observa las creencias de conservación (Figura 12) y austeridad (Figura 13) predominan cuando se manifiesta una creencia positiva. Sin embargo, se puede decir que cuando estas variables bajan de nivel, la creencia también baja. Pero cuando dichas creencias alcanzan niveles negativos, la creencia en general tiende a tomar el valor más positivo. A diferencia de la creencia de dispendio material (Figura 14), que lleva el mismo comportamiento, aumenta o disminuye al mismo ritmo que la creencia general del individuo, con una ligera tendencia de aumento.

Para el análisis de las relaciones entre los distintos tipos de creencias, se crearon superficies por cada dos factores, mostrando como resultado la variación en la generación de creencias que conllevan a una conducta de protección del medio ambiente (Figura 15). Buscando las tendencias que llevan al individuo a formar una creencia de protección y conservación del medio ambiente, se puede decir que las que forman una creencia positiva, son las relacionadas a una mayor creencia de dispendio material. Aunque su combinación con las creencias de conservación alcance el nivel más negativo de todas las creencias, de Indiferente a Pasivo.

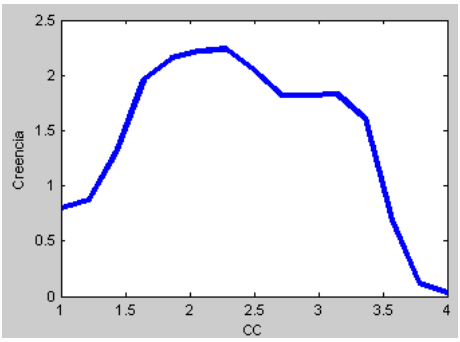


Figura 12. Tendencia de la variable Creencia de Conservación

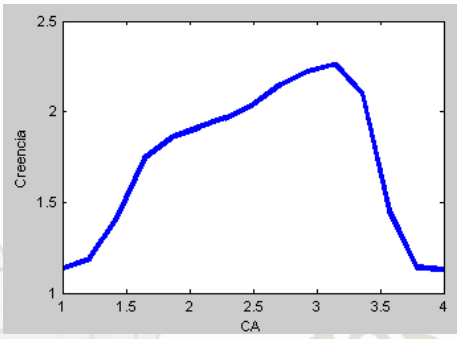


Figura 13. Tendencia de la variable Creencia de Austeridad

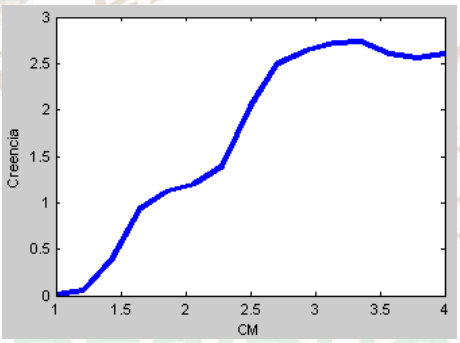


Figura 14. Tendencia de la variable Creencia de Dispendio Material

Por lo que es lógico afirmar que a mayor creencia de conservación, mayor creencia de austeridad y menor de dispendio material. Encontrando que la población cuenta con las

creencias de conservación del medio ambiente y reducción de productos de consumo para disminuir la cantidad de residuos que se generan. Sin embargo, no se muestra la misma disposición cuando utilizan productos desechables o deciden no comprar productos reciclados.

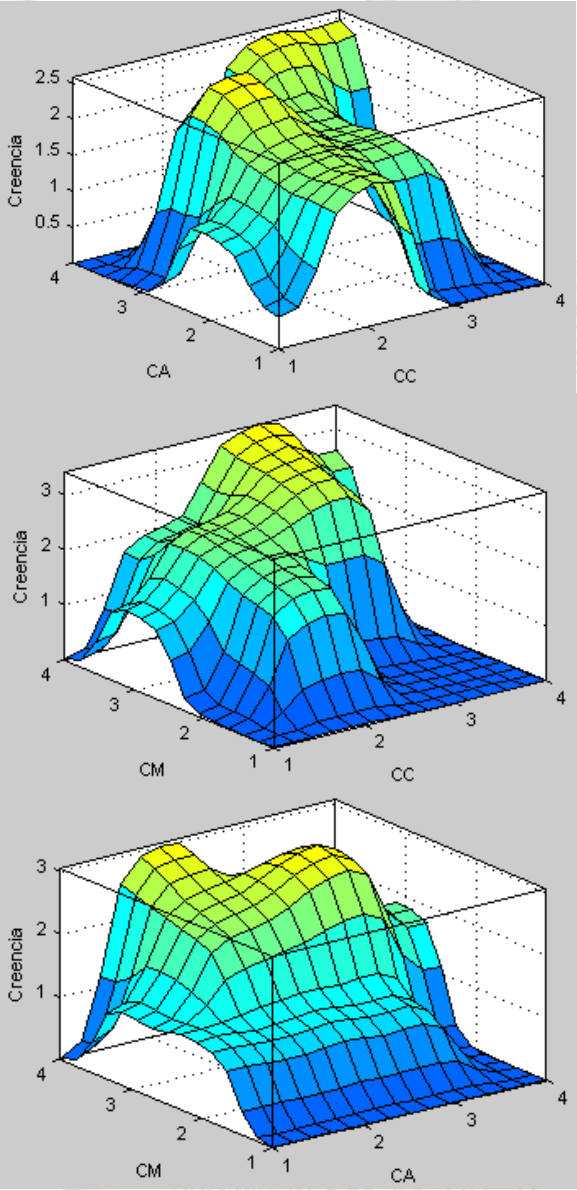


Figura 15. Patrón de comportamiento de la variable creencias

Una vez, analizada la variable psicográfica, mediante las actitudes y las creencias, pasamos a analizar la variable de conocimiento medioambiental, para encontrar los posibles patrones de intención ambiental formados a partir de sus relaciones.

Al analizar el conocimiento medioambiental de la población (Figura 16), se puede identificar que el grado de conocimiento es bueno y que por lo tanto se espera que dicha población guie su comportamiento según el conocimiento que tiene sobre la conservación del medio ambiente.

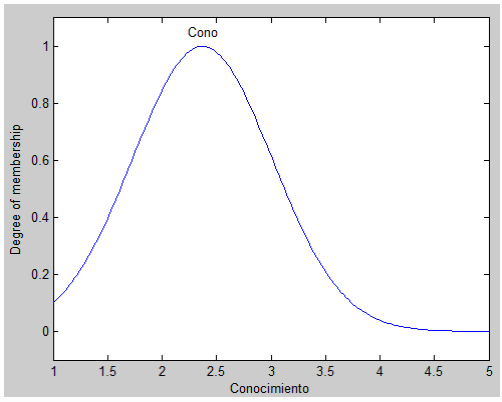


Figura 16. Variabilidad en el grado de membresía del conocimiento medioambiental

Por lo que se ha verificado la tendencia que tiene la variable conocimiento medioambiental (Figura 17), para conocer los rangos en que esta ha sido situada por la población. En la cual, se observa que la población de Mexicali cuenta con conocimientos desde positivo a pasivo, sin alcanzar el nivel de negatividad, sobre cuestiones de protección del medio ambiente y un consumo responsable.

La variable que se analiza como resultado de la pre-compra, es la Intención Ambiental (Figura 18). Esta etapa del proceso de compra nos permitirá identificar la intención ambiental influye en un comportamiento ecológico o, si en los procesos posteriores el comportamiento del consumidor varía, de acuerdo a otros factores producidos en la compra o post-compra. La intención ambiental se midió en

cinco niveles: total, existente, indiferente, deteriorada y ausente. Estos niveles nos indican la generación de una determinada intención ambiental desde un grado de protección alto hasta uno inexistente, respectivamente.

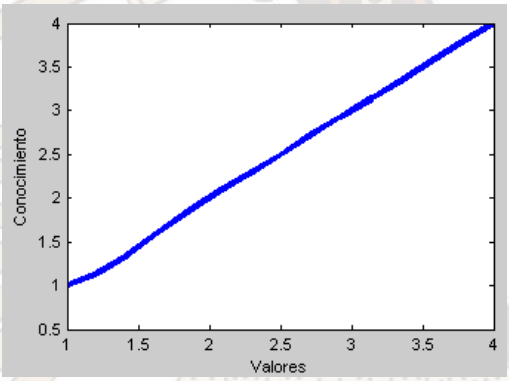


Figura 17. Tendencia de la variable Conocimiento Medioambiental

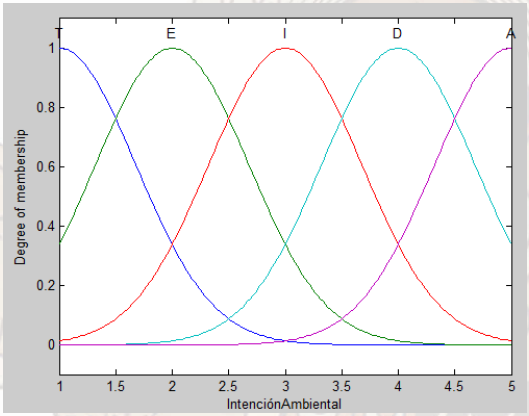


Figura 18. Variabilidad en los grados de membresía de la variable de salida Intención Ambiental

El grado de Intención ambiental en la población, se obtuvo a partir de un modelo difuso, en el cual se utilizaron como variables de entrada, los factores: actitud, creencia y conocimiento medioambiental, estos arrojaron una salida con un rango de variabilidad entre 1 y 4, el nivel 5 es la ausencia de intención en los comportamientos ambientales, el cual para esta población es nula.

Al analizar las variables que influyen en la intención ambiental, se observó, que la tendencia de cada factor es distinta, esto nos indica que la intención de manifestar un comportamiento protector del medio ambiente, a través de actitudes y creencias positivas sobre la realización de prácticas proambientales así como la reducción de la contaminación a través de la generación de residuos en los hogares y el conocimiento medioambiental, son factores que varían dependiendo del contexto en el que se encuentre el objeto de estudio.

En la figura 19, ocurre algo muy particular para la población estudiada, en el caso de la actitud y su tendencia en la formación de la Intención Ambiental, se observa que al aumentar la actitud en forma negativa, la intención ambiental aumenta pero positivamente. Las creencias tienen una tendencia muy similar en la intención (Figura 20), si aumenta la creencia, aumenta la intención y viceversa. Y que en el conocimiento medioambiental (Figura 21) se forma una distribución gaussiana, donde los valores medios se encuentran en un rango de realista a indiferente. Cabe aclarar que en esta población, únicamente se encuentra en rangos positivos de intención, lo que significa que están proclives a desarrollar un comportamiento ambiental.

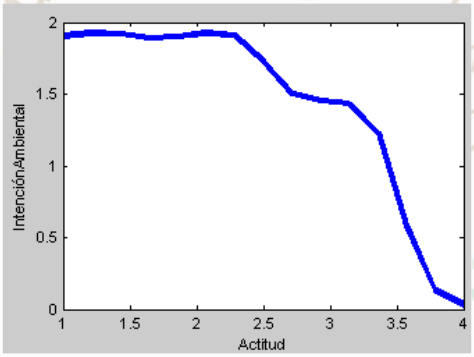


Figura 19. Tendencia de la actitud asociada a la presencia de una Intención Ambiental

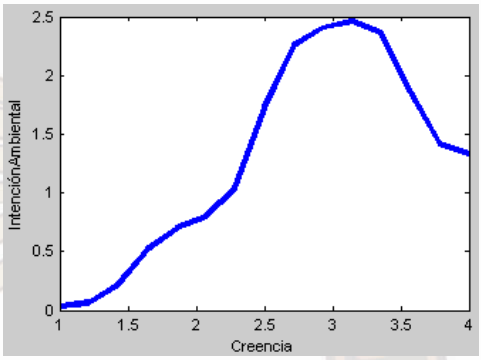


Figura 20. Tendencia de la creencia asociada a la presencia de una Intención Ambiental

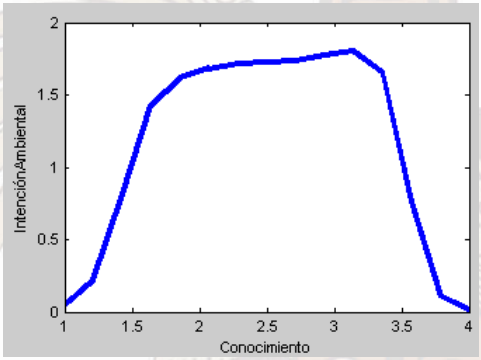


Figura 22. Tendencia del conocimiento medio-ambiental asociada a la Intención Ambiental

Con lo que respecta, al comportamiento de estas variables (Figura 23), existen relaciones indispensables entre ellas, para que el consumidor se comporte de una manera respetuosa con el medio que lo rodea. Dentro de las cuales, se puede mencionar que si existen creencias y actitudes positivas sobre la conservación del medio, las intención por desarrollar comportamientos sustentables también se comporta de manera positiva, así como el contar con conocimiento sobre el medio ambiente, su protección y cuidado, cuando se cuentan con creencias. Algo particular sería lo que ocurre con las actitudes, ya que si éstas son negativas, y existe un conocimiento sobre cuestiones ambientales, la intención ambiental toma rangos positivos.

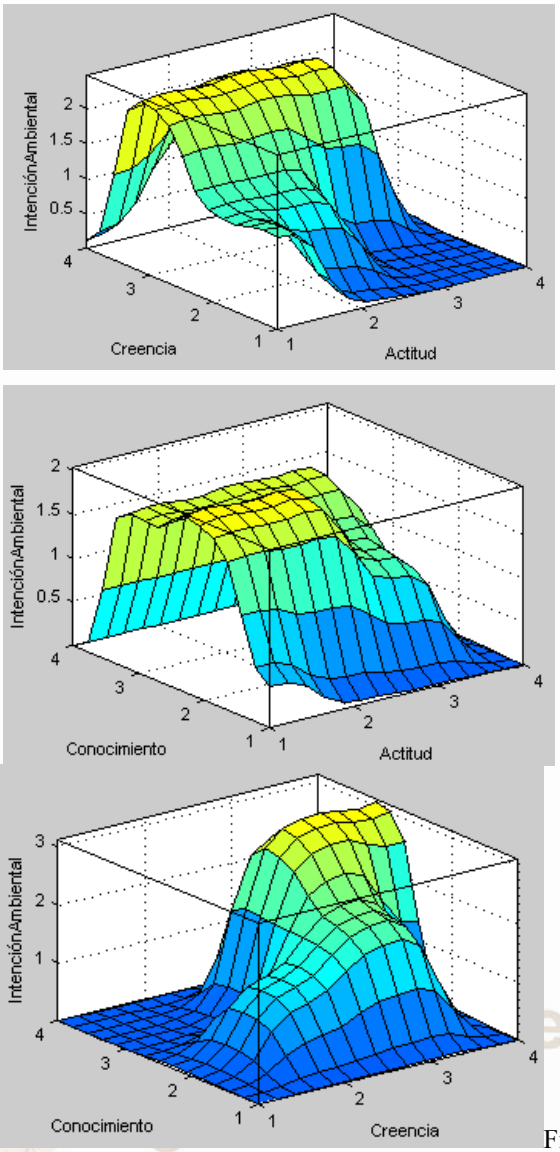


Figura 21. Patrón de comportamiento de la variable Intención Ambiental, por medio de los factores asociados (Actitud, Creencias y Conocimiento Medioambiental)

IV. CONCLUSIONES

En la ciudad de Mexicali, no existen productos plenamente verdes, por lo que no encontraremos consumidores verdes como en otras partes del mundo. Sin embargo se puede considerar para la ciudad de Mexicali, a un consumidor verde como aquel que preocupado por la conservación del medio ambiente realiza prácticas y hábitos de

consumo que permiten disminuir la cantidad de residuos que genera o aminorar el impacto que tienen sus residuos en el medio ambiente, al desecharlos y disponerlos.

Por lo que se concluye, que el contar con creencias de conservación puede ayudar a la generación de una determinada actitud. Se puede inferir que mientras aumentan las creencias de conservación, aumentan también todos los tipos de actitud. Y que cuando las creencias de conservación son indiferentes, los niveles de actitud pueden oscilar desde un rango de realista a indiferente, alcanzando únicamente el nivel pasivo para una actitud conductual. Por lo que se puede afirmar que las actitudes y las creencias no son factores aislados, sino que la combinación entre ellos pueden ayudar a la generación de intenciones más protectoras del ambiente.

Es necesario considerar que a mayor conocimiento del medio ambiente, es mayor la creencia de conservación y de austeridad y viceversa.

Por consiguiente, el grado de variación de la creencia de dispendio material fluctúa en grados más negativos.

Aunque para el caso del conocimiento, las personas se encuentran en rangos de indiferencia a positivo, sin abarcar el desconocimiento de los problemas que como consumidores le causamos al medio ambiente. Observando que la población posee un conocimiento medio sobre el tipo de productos contaminantes, sobre la realización de prácticas proambientales, o sobre los problemas de contaminación que ocasionan los productos que consume. Demostrando que a mayor conocimiento que tiene la persona del medio que lo rodea, más positiva se vuelve su actitud.

Es importante destacar, que las actitudes superan el nivel de indiferencia, lo que significa que la población no está dispuesta a presentar una actitud negativa en lo relacionado a la protección del medio ambiente. Por lo que una alternativa para promover conductas protectoras del ambiente en los consumidores, es la realización de campañas de sensibilización.

Como resultado de esta variabilidad, se ha encontrado porcentajes Intención Ambiental para la población en Mexicali (Tabla 1).

Tabla 1. Porcentajes relacionados al grado de Intención Ambiental.

Grado de Intención Ambiental	Porcentaje
Total	4.44%
Existente	53.33%
Indiferente	40%
Pasiva	2.22%
Ausente	0%

Lo cual indica que la población de Mexicali, si está consciente del daño que como consumidores le ocasionan al medio ambiente, y de que es necesario hacer algo para aminorar el impacto que tienen los residuos que generan. Por lo que es indispensable proveer a la población de información necesaria para la realización de un consumo sustentable, para la reducción de residuos desde la fuente, y evitar así, la cantidad de desechos que llegan a los rellenos sanitarios provocando contaminación y enfermedades para las comunidades aledañas al sitio. Es de importancia que los mercados oferten productos verdes, reciclados, biodegradables y de menor impacto, así como que el gobierno facilite de las tecnologías adecuadas para la separación de residuos, de manera que se puedan aprovechar distintos tipos de materiales, sin acabar con el tiempo de vida útil del relleno sanitario, promoviendo la generación de plantas recicladoras e incentivando a la población por el buen manejo de sus residuos.

V. RECONOCIMIENTO

A la Dra. Sara Ojeda Benítez por su apoyo, colaboración y empeño dedicado a que esta investigación se lleve a cabo, ya que sin su ayuda, revisión y detalladas observaciones hicieron posible un análisis más completo.

A la Dra. Gabriela Lozano Olvera (QEPD) porque sin su amistad no estuviera donde estoy, y porque es un gran ejemplo para seguir adelante.

Y al Dr. Juan Ramón Castro porque gracias a su ayuda sobre lógica difusa he podido seguir adelante.

Se agradece a Conacyt, por su apoyo y patrocinio para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

Aguirre, S, F., 2005, Los consumidores y el consumo responsable en México, Revista sobre desarrollo sustentable, Vinculando.org, encontrado en: http://vinculando.org/consumidores/consumidores.html

Allport, G., 1935, Attitudes, Handbook of Social Psychology, Murchinson, C.. Worcester, MA: Clark University Press, 798-844

Azjen, I., Fishbein, M., 1980, Understanding attitudes an predicting social behavior, Prentice Hall

Bigné, J., 1997, El consumidor verde: bases de un modelo de comportamiento, ESIC MARKET, Abril-Junio, 29-43

Katz, D., Stotland, E., 1959, A preliminar statement to a theory of attitudes structure and change, en S. KOCH, Psichology: A study of a Science, 13, McGraw-Hill

Rojas, L.A., y Ramírez, C.J., 2001, Validación del modelo simbólico-cultural del comportamiento del consumidor, Revista colombiana de marketing, Diciembre, 3,1-21, Universidad de Bucaramanga, Colombia

Schifter, D., Azjen, L., (1985) "Intention, perceived control, and weight loss: An applications of the theory of planned behavior", Journal of personality and social psychology, Vol. 6, pp. 649-744

Wier, M., Block, C., Jensen, J., Pedersen, O., Keiding, H., y Munksgaard, J., 2005, Evaluating Sustainability of Household Consumption - using DEA to Measure Eco-efficiency and Assess Environmental Performance, Economic Systems Research, 17, 425-448.

Actitudes de estudiantes de ingeniería hacia el manejo de residuos sólidos

Carolina Armijo de Vega[1*], Sara Ojeda-Benítez[2], Quetzalli Aguilar Virgen[3] y Paul Taboada González[3], Alejandro García Gastelum[4] y Claudia Leyva Aguilera[5].

[1] Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California. Km 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, Baja California C.P. 22860, Ensenada, B.C. Tel 646 175-0744 Ext. 129

carmijo@uabc.edu.mx

[2] Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California

[3] Estudiantes de Doctorado en el Área de Medio Ambiente, Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería, Instituto de Ingeniería, UABC.

[4] Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California.

[5] Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California

Resumen

Desde hace dos años en el campus Ensenada de la Universidad Autónoma de Baja California se cuenta con un programa de manejo de residuos que incluye la separación de papel, cartón y plásticos. A pesar del tiempo que el programa ha estado funcionando no se conocía la actitud de la población estudiantil hacia el manejo de residuos y hacia el programa en particular. En este trabajo se presenta la primera parte (Facultad de Ingeniería) de un estudio mayor cuyo objetivo es el conocer la actitud que los estudiantes del Campus Ensenada tienen hacia los residuos y en especial hacia el programa de manejo de residuos del campus. Se diseño, validó y aplicó un cuestionario con 22 reactivos a un total de 79 estudiantes de la Facultad de Ingeniería. La aplicación del instrumento fue aleatoria. Los resultados mostraron que el 90% de los estudiantes conocen el problema ambiental que representan los residuos sin embargo solamente el 77% está dispuesto a separar los residuos en botes de colores correspondientes a cada tipo y al 68% de ellos les gustaría recibir más información sobre el programa. El 62% respondió que reutiliza y solamente el 36% mencionó reciclar algún material el resto no lo hace por falta de facilidades. Se puede concluir que existe un gran potencial para que el programa pueda ser más exitoso ya que los estudiantes son sensibles al problema de manejo de residuos, un elevado porcentaje de ellos está dispuesto a participar en el programa y algunos actualmente realizan algunas actividades de reuso y reciclaje.

Palabras Clave – Residuos sólidos, estudiantes de ingeniería, programa de manejo, actitudes.

Abstract

Two years ago in the Ensenada campus of the Autonomous University of Baja California a waste management program was implemented. Despite the time that the program has been running the attitudes of the student population towards waste management and to the particular program had never been studied. This paper presents the first part (Faculty of Engineering) of a larger study aimed at knowing the attitudes students have toward the waste management program on campus. A 22 reagents questionnaire was designed, validated and applied to a sample of 79 students of the Faculty of Engineering. The application of the instrument was at random. The results showed that 90% of students know the environmental problem posed by waste but only 77% are willing to separate waste into colored bins for each type of waste and 68% of them would like more information about the program. A 62% of students responded that reuses some waste and only 36% mentioned that recycle, the rest do not do it for lack of facilities and instruments. It can be concluded that is a great potential for the program to be successful since students are sensitive to the problem of waste management, a high percentage of them are willing to participate in the program and some currently perform some reuse and recycling activities.

Keywords – Solid Waste, engineering students, waste management program, attitudes.

I. INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos es parte de las actividades que realiza una organización. Considerando que dentro de las etapas del ciclo de vida de los residuos sólidos (generación, transportación, almacenamiento, recolección, tratamiento y disposición final), las empresas constituyen el escenario fundamental, en el que se desarrollan y se vinculan las diferentes actividades asociadas al manejo de los mismos. Resulta esencial el manejo adecuado de los desechos de forma priorizada en el contexto de las actividades de Gestión Ambiental, a través de los cuales se potencie el establecimiento de esquemas de manejo que garanticen un mayor nivel de protección ambiental.

Las prácticas actuales de manejo de residuos en Ensenada, Baja California, como en la mayoría de las ciudades de México, es la manipulación de los residuos revueltos, esto es, sin segregar de acuerdo al tipo de residuos, excepto en los casos de algunas industrias, hospitales y otras instituciones (Armijo, et al 2006). En el caso de la mayoría de las instituciones de educación, el manejo de los residuos se hace sin segregación aunque existen reportes de instituciones que cuentan con programas de manejo de residuos no se encontró alguna publicación que nos hable de la proporción de instituciones en México que lo están haciendo.
Consientes de la labor educativa y formativa que se puede ejercer desde las instituciones de educación es posible contribuir en la formación de actitudes positivas hacia el medio ambiente, haciendo posible que los estudiantes asuman comportamientos respetuosos y responsables frente al manejo de los residuos sólidos y al ambiente en general (Céspedes et al, 2005).
Los programas de reciclaje y de manera más general, los programas que promueven alternativas sustentables, requieren la participación de la gente. Sin un cambio en el comportamiento por parte de la comunidad, los programas fallarán. Teniendo el comportamiento un papel central para el éxito de los programas es sorprendente que se le ponga tan poca atención al elemento humano en los programas de reciclaje. Sin embargo, los coordinadores de programas de este tipo tienden a enfocarse en los aspectos técnicos tales como camiones para el transporte y la recolección, contenedores para almacenaje o los procesos post-colecta (Armijo et. al, 2009).
En este trabajo se reporta la actitud de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería hacia el manejo de residuos en general y hacia el programa de manejo de residuos sólidos de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Los resultados que aquí se reportan corresponden a la primera fase del primer estudio de monitoreo del programa, posteriormente se aplicará este cuestionario a los estudiantes de a las demás facultades e institutos del campus.

II. METODOLOGÍA

2.1 Contexto

La UABC es una universidad pública y es la institución de educación superior más grande del estado de Baja California, México. Cuenta con seis campus en los que se imparte educación a un total de 44,978 estudiantes. El 19.6% de la población estudiantil pertenece al campus Ensenada y de éstos el 35.4% (3,191) estudian en el campus El Sauzal en el que se desarrolló la presente investigación (UABC, 2010).

En el campus El Sauzal se encuentran las facultades de Ingeniería, Ciencias Marinas, Ciencias y Gastronomía así como los institutos de Investigaciones Oceanológicas y el de Investigación y Desarrollo Educativo.

El programa de separación de papel y cartón inició en enero del año 2008. Para dar a conocer el programa se han hecho campañas informativas a través de diferentes medios tales como correo electrónico, folletos, pláticas salón por salón, talleres, y programas de servicio social. El programa consiste en separar papel y cartón en cubículos y oficinas, posteriormente estudiantes de servicio social recogen los materiales separados y los llevan a las cajas de almacenaje temporal de

reciclables que están ubicadas en lugares estratégicos, por lo regular una caja en cada facultad del campus. Una vez que están llenas esas cajas se llama a la empresa CAMREC S.A. de C.V. que se dedica a la compra-venta de reciclables para que recoja los materiales separados y se los lleve.

2.2 Cuestionarios

Para saber cuál es la actitud de los estudiantes de la UABC campus El Sauzal hacia el manejo de residuos y hacia el programa en particular se construyó un cuestionario el cual consta de 22 reactivos. El cuestionario se validó y corrigió aplicándolo previamente a un grupo de quince personas. En conjunto con estos reactivos se buscó cubrir dos aspectos principalmente:

1. Conocimiento sobre residuos
2. Actitud hacia los residuos

Para cubrir estos aspectos se aplicó el cuestionario a un total de 79 estudiantes de la Facultad de Ingeniería. De este total 33 fueron aplicados aleatoriamente a estudiantes de 1^{o}, 2do y 3er semestre (etapa básica), 25 se aplicaron a estudiantes de 4to y 5to semestre y 21 se aplicaron a estudiantes de 7mo y 8vo semestre.

2.3 Análisis de datos

Las respuestas de los cuestionarios contestados se capturaron en el programa Perseus Survey Solutions 7. Para esto previamente en este programa se capturaron las preguntas del cuestionario seleccionando el tipo de respuesta que se tendrá, una vez hecho esto el programa genera automáticamente una base de datos que se alimenta con las respuestas a los cuestionarios. Esto facilita manejar grandes cantidades de datos. Esta misma base de datos se seguirá alimentando una vez que el cuestionario se haya aplicado en las otras facultades e institutos del campus.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a las preguntas de conocimiento se encontró que el 90% de las personas que respondieron sabe de los daños al ambiente que ocasiona los residuos mal manejados, sin embargo el 85% desconoce las cantidades aproximadas de residuos que genera diariamente lo que podría indicar que no se han cuestionado el volumen que como individuos generan diariamente de residuos. Por otro lado el 97 % conoce el significado del reciclaje y mencionaron al menos seis medios de información en los que han leído u oído hablar del reciclaje, lo que indica que efectivamente no están ajenos a esa posibilidad de manjar sus residuos. Aunado a lo anterior los materiales mencionados como reciclables con mayor frecuencia fueron el papel, los plásticos, el cartón, los metales y el vidrio en orden descendente. El 82% mencionaron diversos beneficios derivados del reciclaje, el resto se abstuvo de contestar sobre su conocimiento de las ventajas del reciclaje, y de la reutilización de residuos.

En cuanto a las preguntas relacionadas con la actitud de los estudiantes hacia los residuos el 97% mencionó estar dispuesto a usar los botes de colores para separar residuos y las razones dadas para esto están todas relacionadas con el cuidado al ambiente, la limpieza de las instalaciones y por cumplir con regulaciones. Sin embargo al observar el uso de los botes de colores se puede ver que no hay separación alguna por tipos de residuo. El 86% contestó que les gustaría recibir más información por parte de la universidad para aprender a manejar adecuadamente los residuos. Cuando se preguntó si reutilizan y reciclan algún material el 62% respondió que sí a la primera y el 48% que sí a la segunda opción. A razón principal mencionada por las personas que mencionaron que no reciclan es por la percepción de que no es práctico ni fácil, en menor proporción se mencionó la falta de interés. En la Figura 1 se presentan las respuestas y sus porcentajes correspondientes de la motivación que llevaría a los estudiantes a participar en un programa de reciclaje.

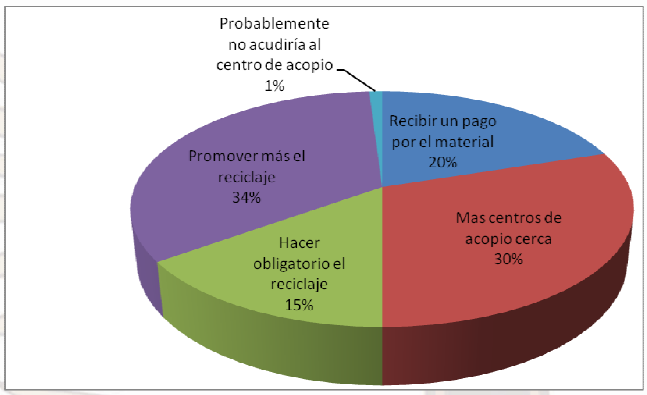


Figura 1. Respuestas a la pregunta ¿Qué lo motivaría a llevar los materiales a los centros de acopio?

El 95 % de las personas que contestaron consideran que ellos comparten la responsabilidad del manejo de los residuos que generan en el campus, el 4% consideran que es responsabilidad de los conserjes y el 1% mencionaron que es responsabilidad de las autoridades de la universidad. Contrastando estos resultados con los obtenidos por Cota (2004) quien encontró que en la ciudad de Ensenada el 81% de los ciudadanos entrevistados consideran que el manejo de los residuos era responsabilidad exclusiva de las autoridades municipales.

El 91% está de acuerdo en que haya un programa de separación de residuos en el campus sin embargo solamente el 81% está dispuesto a participar en el programa.

Los resultados anteriores son interesantes ya que muestran una actitud positiva hacia el programa de manejo de residuos. Sin embargo a pesar del reconocimiento de que las estrategias usadas por el programa (reducción, reciclaje y reuso) eran necesarias el deseo de participar de los estudiantes es menor que el porcentaje de estudiantes que están de acuerdo en que haya un programa. Aún así este último porcentaje es alto.

De acuerdo con la teoría del comportamiento planeado (TCP) de Azjen (1991) las intenciones para llevar a cabo ciertos comportamientos pueden predecirse a partir de las actitudes hacia el comportamiento, normas subjetivas y el control percibido del comportamiento. Con base en esto los estudiantes entrevistados podrían estar reconociendo el valor de las estrategias usadas en el programa pero no ver ninguna ventaja personal para comportarse de acuerdo a ellas. Si los individuos no ven una ganancia personal en el comportamiento propuesto (en este caso reducir, separa, reciclar o reusar) puede que no consideren que vale la pena hacer un esfuerzo extra hacia las actividades propuestas.

Otras variables que pueden influir en el comportamiento ambiental son la disponibilidad de información y conocimiento. De acuerdo con Kreft-Burnman (2002) y Garcés et al. (2002) un conocimiento e información deficientes puede dejar muchas dudas acerca de las razones por las que la gente debería participar en un programa. Se debe explorar la posibilidad de usar los canales de información preferidos por la comunidad universitaria. Por otro lado McKenzie-Mohr & Smith (1999) también reconocen la importancia de la información y el conocimiento para crear una actitud más positiva en la comunidad y finalmente un cambio de actitud.

En muchos programas de manejo de residuos universitarios se ha echado mano al uso de incentivos para motivar a la participación (Keniry, 1995). Sin embargo hay otros autores que mencionan que la efectividad con la que funcione un programa es un motivador más grande que el dinero (Davio, 2001; Gamba & Oskamp, 1994; Oskamp, et al., 1991; Simmons & Widmar, 1990). Estos autores sugieren que conforme más gente vea al reciclaje como efectivo, es más probable que la gente quiera participar.

IV. CONCLUSIONES

En general la comunidad estudiantil de la Facultad de Ingeniería tiene una actitud positiva hacia el programa de manejo de papel y cartón en el campus.

La falta de conocimientos e información puede ser una variable que afecte la falta de involucramiento de la comunidad estudiantil en el progra-

ma. En este sentido deben buscarse estrategias efectivas de información que lleguen a los estudiantes.

Los incentivos como lugares de acopio convenientes, pago por el material separado y la obligatoriedad del reciclaje son aspectos, propuestos por los entrevistados, que, de tomarse en cuenta habría que explorar los mecanismos para no provocar un efecto contrario al deseado.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece a los prestadores de servicio social del Programa de Acción, Educación y Difusión Ambiental, Académica y Comunitaria (PAEDAAC) del Campus El Sauzal, Ensenada de la Universidad Autónoma de Baja California que participaron en la aplicación de los cuestionarios.

REFERENCIAS

Armijo de vega, C., García-Gastelum, Q. Aguilar-Virgen, P. A. Taboada-González, 2009. Programa de manejo de papel en el campus Ensenada de la UABC. II Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos. Morelia, Michoacán del 27 – 30 de abril.

Armijo de Vega, C., S. Ojeda-Benítez, E. Ramírez-Barreto y A.L. Quintanilla-Montoya, 2006. Potencial de reciclaje de los residuos de una institución de educación superior: el caso de la Universidad Autónoma de Baja California. Ingeniería, 10 (3), 13 - 21.

Azjen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Process, 50,* 179-211.

Céspedes Prieto, N. E., M. López de Laverde, Y. Alvarado, R. Garibello y N. Sáenz., 2005. Los residuos sólidos un problema para la escuela y una solución desde ella y para la ciudad –PIMARS. Memorias del IV Encontro Iberoamericano de Coletivos Escolares e Redes de Professores que fazem investigação na sua escola. Del 24 al 29 de julio de 2005. Lajeado RS, Brasil.

Cota, E. 2004. Percepción social de la basura en Ensenada. Tesis de Maestría en Estudios y proyectos sociales. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, B.C.

Davio, R. (2001). I*nfluences and motivations on Curbside Recycling Participation in Austin, TX.* Dissertation: University of Texas at Austin.

Gamba, R., & Oskamp, S. (1994). Factors influencing community residents' participation in commingled curbside recycling program. *Environment and Behavior, 26 (5)*, 587-612.

Garcés, C., Lafuente, A., Pedraja, M., & Rivera, P. (2002). Urban Waste Recycling Behavior: Antecedents of Participation in a Selection Collection Program. *Environmental Management, 30 (3),* 378-390.

Keniry, J. (1995). *ECODEMIA: Campus environmental stewardship at the turn of the 21st Century*. Washington, DC: National Wildlife Federation.

Kreft-Burnman, K. (2002). Raising environmental awareness in the Baltic Sea area: results and experience gained from the SPA Project. *International Journal of Environment and Sustainable Development, 1 (1)*, 88 – 96.

McKenzie-Mohr, G. & Smith, W. (1999). *Fostering Sustainable Behavior: An introduction to community-based social marketing*. Gabriola Island B.C., Canada: New Society Publishers

Oskamp, S., Harrington, M., Edwards, T., Sherwood, D., Okuda, S., & Swanson, D. (1991). Factors influencing household recycling behavior. *Environment and Behavior, 23,* 494-519.

Simmons, D. & Widmar, R. (1990). Motivations and barriers to recycling: Towards a strategy for Public Education. *The Journal of Environmental Education, 22,* 13-18.

UABC, 2010. Población estudiantil. En: http://www.uabc.mx/csege/2010-1.htm consultado el 22 de abril de 2010.

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) como Herramienta Interdisciplinaria en las licenciaturas de la Universidad Autónoma Metropolitana

Brenda Bravo Díaz[a], Miguel Ángel López Ontiveros[b]

[a]Profesora Investigadora, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. México, D.F.
bdb@correo.azc.uam.mx

[b]Profesor Investigador, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. México, D.F.
mlopez@correo.azc.uam.mx

Resumen

El futuro de la Ciencia va encaminado hacia la interdisciplinariedad, la interconexión entre las diferentes disciplinas científicas. En la actualidad debemos servirnos de todas ellas para contribuir a la disminución de los impactos ambientales y fomentar el desarrollo sustentable en nuestra sociedad. Los ingenieros de las diferentes disciplinas de la Universidad Autónoma Metropolitana, tanto industriales, químicos, civiles, ambientales, entre otras, deben integrar sus conocimientos en un lenguaje común para adoptar el Enfoque de Ciclo de Vida. Para llevar a cabo lo antes descrito, es necesario conocer las orientaciones que son transmitidas a los alumnos de las diferentes disciplinas de la universidad, sobre el comportamiento ambiental en procesos y productos. El Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta que permite evaluar desde el punto de vista medioambiental un producto, proceso o actividad a lo largo de su ciclo de vida. Adoptar un enfoque de ciclo de vida significa reconocer la forma en que nuestras elecciones influyen en cada etapa del proceso y así sopesar las ventajas y desventajas, contribuyendo al desarrollo económico, medioambiental y social. En general, éste enfoque fomenta un ritmo de producción y consumo más sostenible, y ayuda a aprovechar los limitados recursos financieros y naturales con mayor eficacia. El concepto de ciclo de vida ha sido adoptado sobre todo en países en desarrollo, especialmente en grupos innovadores que han descubierto en este enfoque una forma integral de fomentar el progreso social y económico sin vulnerar el medio ambiente. Dar a conocer este enfoque como herramienta interdisciplinar en las licenciaturas contribuirá a que los ingenieros egresados de la UAM estén preparados para enfrentarse a nuevos conceptos y sean aún más competitivos.

Palabras Clave – Análisis de ciclo de vida, interdisciplina, enfoque ambiental.

Abstract

The future of Science goes in the interdisciplinary track. We must serve from this approach to generate proposals for the minimization of environmental impacts and promote sustainable development. Engineers of different disciplines from the Metropolitan Autonomous University, industrial, chemicals, civil, environmental, among others, must integrate their knowledge in a common language to adopt the Life Cycle Approach. It is desirable to know which approaches to environmental performance are being teaching in the different disciplines of the university. The Life Cycle Analysis is a tool to evaluate a product, process or activity from the environmental point of view, throughout its life cycle. Adopt a life cycle approach is to recognize how our choices at each stage of the process and weigh the advantages and disadvantages, contributing to the economy, environment and society. The life cycle concept has been adopted mainly in developing countries, especially in groups of innovators who have discovered this approach in a holistic manner to promote social and economic development without undermining the environment. To present this approach as a tool in interdisciplinary degree will help the graduates of the UAM engineers being ready to get new abilities and be even more competitive.

Keywords – Life Cycle Assessment, interdisciplinary, environmental approach

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se están realizando diferentes actividades en todo el mundo, para contribuir al esfuerzo de difundir el enfoque de Ciclo de Vida y sus ventajas, con la finalidad de generar producción y consumo más sostenibles. Los diferentes sectores han aprovechado diversas formas para poner en práctica el concepto de ciclo de vida y de aprovechar diversas herramientas. Algunas de estas prácticas consisten en la consulta de las ecoetiquetas, los índices de sostenibilidad y los informes empresariales sobre temas ambientales y sociales, lo que servirá de ayuda a la ciudadanía a integrar la información relativa al ciclo de vida a sus hábitos de consumo. Los gobiernos adoptan un enfoque de ciclo de vida en la formulación de políticas al acoger la participación activa de una amplia gama de actores, aplicar modelos de ciclo de vida o con enfoques políticos innovadores. En el sector privado, las áreas de ingeniería y diseño de las empresas aplican el concepto del ciclo de vida al diseñar productos y servicios con estudios basados en el Análisis del Ciclo de Vida, el cálculo del Costo Total de Tener un Producto, programas de Diseño para el Medio Ambiente y sistemas de administración orientados a productos o instalaciones específicas (Fava *et al*., 2004).

Estos sectores requieren de personas con conocimientos relacionados al desarrollo sustentable. Para ello solo es necesario capacitar al personal de las empresas, y de esta forma se requiere que el personal egresado de diferentes universidades conozcan las diversas herramientas empleadas en el enfoque de ciclo de vida. El objetivo de este trabajo es analizar las necesidades actuales y la tendencia del mercado laboral de profesionistas en México, empleadoras de egresados de la Universidad Autónoma Metropolitana. Reconocer que las diferentes disciplinas requieren conocimiento sobre los nuevos enfoques y herramientas relacionadas con el medio ambiente, es decir, para ser competitivos en un futuro se requerirá incorporar otros parámetros, incluir no solo el enfoque clásico de tiempo, coste y calidad en la enseñanza sino también innovar con criterios que contribuyan a un desarrollo sustentable.

II. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. ANTECEDENTES.

El primer estudio realizado entorno al término Análisis de Ciclo de Vida (ACV) fue desarrollado por Coca-Cola en 1969 con el objetivo de analizar sus empaques de bebidas gaseosas (Vigon *et. al*, 1993; citado en Suppen *et al*, 2005).

Sin embargo, en el año 1989 se celebro en Cincinnati, Ohio, una reunión de expertos para analizar la posibilidad de realizar un taller sobre lo que se convertiría en el "análisis del ciclo de vida". A partir de la celebración de este taller se han llevado a cabo análisis del ciclo de vida de diversos sistemas de producción. En 2002, el PNUMA se unió a la labor de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC) para lanzar la *Iniciativa del Ciclo de Vida*, creando una alianza internacional diseñada para poner en práctica el concepto del ciclo de vida. Gracias a la orientación y guía de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), la sociedad civil ha hecho grandes progresos en relación con la aplicación de enfoques del ciclo de vida (Fava *et al*., 2004), desde entonces el Análisis de Ciclo de Vida ha seguido en desarrollo en todo el mundo (ver tabla 1).

Lo anterior, ha surgido de la evolución del planteamiento en la gestión ambiental, en la cual se llevaban acabo únicamente medidas correctivas de los desperfectos al final de la producción o de un servicio, ajustando los costes y analizando la pérdida de recursos.

Éstas medidas fueron sustituidas por otras preventivas de la ingeniería ambiental, encargada de estudiar los problemas ambientales con el objetivo de promover un desarrollo sustentable. Estas medidas no fueron suficientes, ya que debían tomar acciones que impactaran en todo el proyecto, empleando entonces herramientas como el ACV.

Tabla 1. Cronología del desarrollo del Análisis de Ciclo de Vida.

Año	Acontecimiento
1965	Harry E. Teasley, de Coca Cola, visualizó un estudio que pudiera cuantificar la energía, materiales y consecuencias ambientales a lo largo del ciclo de vida completo del empaque, desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final. (Hunt y Franklin, 1996).
1970	El Midwest Research Institute (MRI) desarrollo un estudio –ancestro de los Análisis del Ciclo de Vida, al que se llamó "Resources and Environmental Profile Análisis (REPA)", donde se analizaron diferentes embases, para Coca Cola Company (Hunt y Franklin, 1996).
1971	El segundo REPA realizado por MRI fue para Mobil Chemical Company, se analizaron las charolas de espuma de poliestireno y las charolas de pulpa de papel (Hunt y Franklin, 1996).
1972-1976	Se publican largas porciones de las bases de datos y se describe la metodología de los REPA (Franklin y Hunt, 1972; Hunt y Franklin, 1973; Hunt y Welch, 1974; Cross *et al.*, 1974 y Hunt y Franklin, 1976).
1972	En el Reino Unido, Ian Boustead calcula la energía total utilizada en la producción de contenedores de botellas de leche (Boustead I. 1972)
1974	La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos publica el reporte "Resource and Environmental Profile Análysis of Nine Beverage Container Alternatives", que marca la entrada de los REPA dentro del dominio público (Hunt y Franklin, 1974).
1975	El sector público pierde interés en los REPA pero se realizan muchos estudios confidenciales para compañías particulares (Bidar, *et al.*, 1980)
1979	En Reino Unido, Ian Boustead publica el "Handbook of Industrial Energy Análisis" (Astrup, *et al.*, 1997).
1980	Se publica un reporte por el Solar Energy Research Institute en los Estados Unidos (Bidar, *et al.*, 1980)
1984	El Laboratorio Federal Suizo para el Ensayo y la Investigación de Materiales (EMPA), publicó un estudio de materiales de envase y embalaje que introducía un método para agregar los distintos impactos ambientales en un solo índice, el llamado "método de los volúmenes críticos" (Druliff,1984).
1988	En 1988 la crisis de los residuos sólidos en Estados Unidos y la actividad ambiental en Europa, desencadenaron una explosión de actividad en REPA. Al principio, los residuos sólidos eran la clave, especialmente el cómo reciclar, la sustitución de materiales y el residuo de productos para reducir la dependencia de los vertederos (Boustead I., 1996).
1990	Primer taller de la Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (SETAC), para abrir el debate sobre REPA, uno de los resultados fue la adopción del término "Life Cycle Assessment" (LCA), en español Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (SETAC, 1990)
1991	EPA inicia actividades en ACV con el interés primario de asistir en el desarrollo de guías y bases de datos para uso del sector público y privado (Hunt y Franklin, 1996).
1992	En 1992 Franklin Associates publicó un artículo donde se presentaba completa por primera vez la metodología de ACV (Hunt *et al.*, 1992). Se crea SPOLD (de Society for the Promotion Of LCA Development), una asociación de 20 grandes compañías en Europa, con el objetivo de promover el desarrollo y la aplicación del ACV.
1993	La EPA publica un documento guía para el Inventario (Vigon *et al.*, 1993). SETAC publica el "Code of Practice" (Consoli *et al.*, 1993) y "LCA Sourcebook" (Ellington *et al.*, 1993) y fomenta numerosos talleres y reuniones que tienen como objetivo alcanzar el consenso en los aspectos metodológicos del Análisis del Ciclo de Vida (Rydberg, 1996).
1997	Se publica la serie de normas ISO 14040 referente a ACV.
2000	Se conducen estudios de ACV en todo el mundo, muchos de éstos trabajos son a gran escala y se enfocan en los combustibles fósiles, la energía nuclear y las energías renovables para producir electricidad (ABB, 2002)
2002	Se lleva a cabo la Reunión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo en Johannesburgo y se reconoce al ACV como una herramienta de apoyo para fomentar el cambio en los patrones de consumo y producción (UNEP, 2004)
2002-2006	Se realizan ACV en todo el mundo. Se forman asociaciones de ACV por regiones y desarrollan investigación, aplicación, consultorías y reuniones. Se desarrollan modelos computacionales especializados y genéricos. Se forman grupos de trabajo por áreas que buscan el desarrollo metodológico.

Fuente: Güereca, (2006).

El Análisis de Ciclo de Vida (en inglés Life Cycle Assessment o LCA), es una herramienta que permite evaluar desde el punto de vista medioambiental un producto, proceso o actividad a lo largo de su ciclo de Vida. El ACV incluye todos los procesos "de la cuna a la tumba": extracción de materias primas, proceso de fabricación, distribución, consumo y tratamiento de residuos. La adopción de nuevas medidas como el uso ACV se debe a diversos factores del entorno, como los políticos, económicos, sociales y tecnológicos, lo que provoca la necesidad de un producto más competitivo y que se encuentre en constante innovación.

1.1 El Análisis de Ciclo de Vida.

Según la SETAC (Consoli *et al*. 1993), el Análisis de Ciclo de Vida es un proceso objetivo para evaluar cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para determinar su impacto en el medioambiente y evaluar y poner en práctica estrategias de mejora medioambiental.

De igual modo, el ACV de acuerdo a la Norma ISO 14040, es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio (ISO, 2006).

Ésta norma define que la metodología del ACV consta de 4 fases (figura 1):

1. Definición de objetivos y de ámbitos de aplicación.
2. Análisis de inventarios
3. Evaluación de los impactos.
4. Interpretación.

1.1.1 Fases de un análisis de ciclo de vida.

En el punto anterior se mencionaron las fases necesarias para elaborar un ACV, a continuación se definirá brevemente cada una según lo descrito en la Norma ISO 14040 (ISO, 2006).

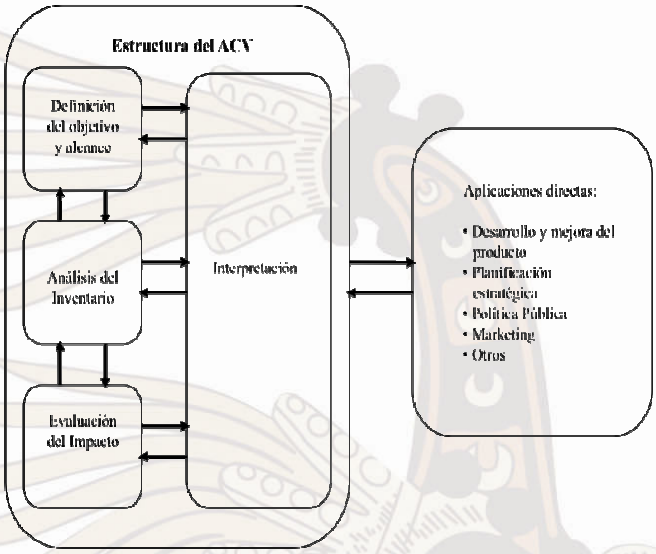


Figura 1. Fases de un análisis de ciclo de vida.
Fuente: ISO 14040, (ISO, 2006).

Definición de objetivos y alcance del estudio: debe ser muy transparente, allí definiremos hasta donde llegaremos y de qué manera lo haremos.

Inventario del ciclo de vida: obtención de todas las cargas ambientales, todas las entradas y salidas del sistema que hemos considerado anteriormente.

Evaluación de impactos: las entradas y salidas se evalúan en un conjunto de categorías de impactos: eutrofización de las aguas, acidificación del medio, reducción de la capa de ozono, toxicidad, agotamiento de los recursos, etc. Incluye 4 pasos: clasificación, caracterización, normalización y valoración.

Interpretación: Es función tanto de los límites del estudio y datos utilizados, como de los resultados obtenidos en cada una de las etapas del proceso. Se introducen una serie de técnicas como son: análisis de sensibilidad sobre los datos que se han utilizado, análisis de significancia de cada una de las etapas que han intervenido en el proceso, de cual es más importante respecto a esos resultados y análisis de calidad de los mismos.

Revisión crítica: Cuando un ACV va al público y sobre todo cuando se realizan comparaciones, debe haber un panel de expertos externos independientes que va a revisar el estudio de arriba a abajo y que va a decir si los resultados son correctos o no.

1.2 El enfoque del ACV en Universidades y Organizaciones No Gubernamentales.

El objetivo del desarrollo sustentable ha sido un factor importante en la adopción de herramientas de gestión como el ACV, auditorias ambientales y ecoetiquetas. Lo anterior y los nuevos enfoques, como el consumo y la producción sustentable, han provocado que en diferentes Universidades y Organizaciones No Gubernamentales a nivel mundial se incluyan estos nuevos conceptos.

Güereca en el año 2006, describió algunos ejemplos de estas actividades:

Organización Manejo de Recursos Ambientales (ERM).- La organización Manejo de Recursos Ambientales (del inglés Environmental Resources Management) utiliza el ACV para apoyar a las autoridades municipales en el desarrollo de planes y estrategias de manejo de residuos. También han comenzado algunos estudios de ACV sobre la pulpa del papel y la incineración de residuos animales (Aumonier, 2004).

Universidad Católica de Oporto, Portugal.- Xara, (2004), describe las investigaciones en ACV que se realizan en la Universidad Católica de Oporto:

1) Una comparación entre los impactos ambientales de la incineración, el vertedero y el reciclaje

de baterías alcalinas,

2) La evaluación de los impactos de agua mineral embotellada en vidrio o plástico,

3) Una comparación de PET frente a contenedores de cartón y

4) El desarrollo de una herramienta para la evaluación de opciones de gestión integrada de residuos sólidos en Portugal.

Universidad de Nápoles, Italia.- El uso de ACV en desarrollo de políticas de gestión de residuos esta sufriendo una reducción de recursos de la Agencia Italiana del Ambiente. El énfasis está cambiando hacia las Evaluaciones de Impacto Ambiental más que a ACV. La universidad de Nápoles esta involucrada en varios estudios de ACV relacionados con los residuos de nuevos empaques, incluyendo empaques de papel y cartón así como contenedores de plástico y aluminio (Arena, 2004).

Organización Golder Associates, Reino Unido.- Hall, (2004) describió el trabajo de Goleen Associates como de asistencia a la Agencia de Protección Ambiental de Reino Unido al desarrollar un modelo para residuos de una misma clase (monolíticos).

University of Surrey, Reino Unido.- En la Universidad de Surrey, Reino Unido, Cowell (2004), se están desarrollando un enfoque para la evaluación del potencial negativo del cambio climático global, y han llevado a cabo un estudio de ACV para estudiar la efectividad de las directivas europeas sobre residuos de equipo eléctrico y electrónico.

Chalmers University, Gothenburg, Suecia.- Ekvall (2004), describió que en Chalmers se están realizando estudios de mercado en donde se investigan:

- Consecuencias de la incineración de los residuos en Suecia, sobre la producción y uso de biofuel.
- Efectos del reciclaje de papel en Suecia sobre la producción marginal de pulpa de madera.
- Comercio de combustible de residuos en Suecia.
- Aplicación y evaluación de la metodología de ACV, consecuencias y atribuciones.

Universidad de Boku, Austria.- Según Salhofer (2004), la Universidad de Boku, en Austria, esta involucrada en un caso de estudio de la Evaluación Estratégica Ambiental para el manejo de los residuos sólidos en Austria, el cual incluye el ACV como un elemento en la toma de decisiones.

III. El análisis de ciclo de vida como herramienta interdisciplinaria en las licenciaturas de la Universidad Autónoma Metropolitana.

En la presente investigación, se llevo acabo un análisis de las necesidades del sector laboral, encargado de emplear a futuros egresados de las diferentes universidades mexicanas.

Se aplicaron diferentes encuestas para conocer los aspectos que requiere la empresa para contratar un nuevo trabajador. Las mismas contenían preguntas que reflejaban la preocupación por el medio ambiente, el desarrollo sustentable y la aplicación herramientas de gestión ambiental.

Debido a la dificultad para la obtención de los datos, se realizó una encuesta por empresa de diferentes sectores, entre los que se incluyen las siguientes diez empresas (tabla 2):

Tabla 2. Clasificación de empresas encuestadas.

	Tamaño de la empresa		
	Pequeña	Mediana	Grande
Actividad principal			Producción y distribución de productos lácteos (yogurt).
		Fabricación de aceites, lubricantes, aditivos, grasas y cosméticos automotrices.	
			Financiera.
			Fabricación de tintas de impresión y re-venta de productos relacionados.
			Consultoría de IT.
			Alimentación.
			Fabricación de equipos de automatización, servicios de ingeniería, servicios de administración de activos, proyectos de automatización.
	Salud.		
			Elaboración de Productos de cuidado personal, elaboración de productos de consumo y Servicios.
			Metal mecánica, diseño y manufactura de productos.

1.1 Innovación- desarrollo y sustentabilidad en las empresas encuestadas.

Para conocer si la política de la empresa contempla aspectos relacionados con la innovación-desarrollo y sustentabilidad, se les preguntó si ésta se reflejaba en el manual de calidad, manual de gestión medioambiental, plan estratégico, otro o ninguno.

De las empresas encuestadas, únicamente tres contemplan la innovación-desarrollo y sustentabilidad en su manual de calidad, manual de gestión ambiental y en su plan estratégico. La empresa del sector financiero refleja los aspectos mencionados en su manual de calidad, mientras que dos de las encuestadas los reflejan en su Plan estratégico. Así mismo, la empresa de fabricación de tintas y la del sector salud no reflejan los aspectos antes mencionados. Sin embargo, la empresa *Metal Mecánica* menciona que en la política de calidad se abarca la importancia de cumplir con los requisitos ambientales y dentro de los objetivos generales de la empresa, se definen varios enfocados a reducir la contaminación generada por los procesos de manufactura en especial los procesos químicos. Pero no se contempla el concepto como tal de sustentabilidad. Sobre innovación, existe un departamento que esta continuamente buscando en el mercado las necesidades, nuevas tendencias, aplicaciones para desarrollar nuevos productos, pero no está enunciada ningún tipo de visión, política u otro aspecto que menciona la innovación. En la figura 2 se observa lo antes descrito.

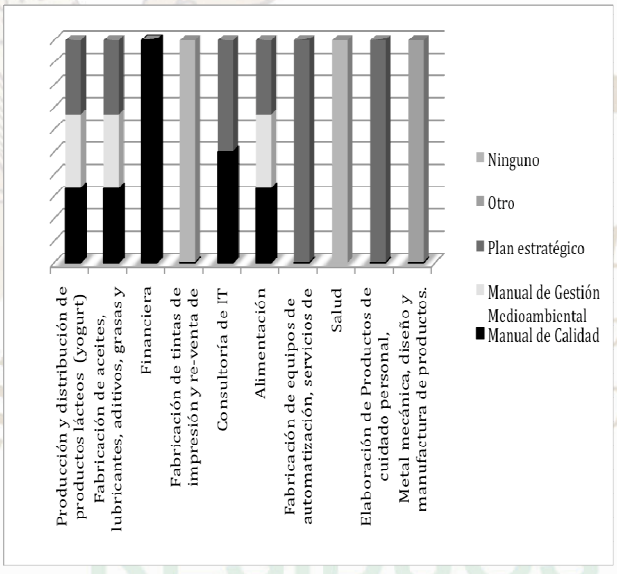


Figura 2. Innovación y desarrollo en la política de las empresas encuestadas.

1.2 El desarrollo sustentable en las empresas encuestadas.

Para conocer la opinión de las diez empresas encuestadas en relación con el conocimiento en desarrollo sustentable de sus trabajadores, se les preguntó qué trabajadores deberían tener conocimiento relacionado con este concepto. De las diez empresas, nueve coincidieron en que todos los trabajadores deben tener dicho conocimiento, únicamente la empresa dedicada a la fabricación de aceites, lubricantes, aditivos grasas y cosméticos automotrices mencionó que este concepto debe ser conocido por los directivos, técnicos y trabajadores no técnicos.

Del mismo modo, se requería conocer si el concepto de desarrollo sustentable a un área específica de la empresa, a lo que las diez empresas coincidieron en que este concepto debe ser conocido y aplicado por todas las áreas de la empresa.

Lo anterior sugiere que la enseñanza de aspectos relacionados con el desarrollo sustentable, pueden ser transmitidos a los ingenieros de las diferentes disciplinas de la Universidad Autónoma Metropolitana, tanto industriales, químicos, civiles, ambientales, entre otras, deben integrar sus conocimientos para adoptar un lenguaje común entorno al Enfoque de Ciclo de Vida.

Así mismo, implementar estos aspectos a los planes de estudio actuales de la Universidad sería un aspecto importante de innovación, tomando como ejemplo las Universidades mencionadas en el punto II.2 del presente artículo

1.3 Capacitación o enseñanza de herramientas de gestión ambiental

De las diez empresas encuestadas cinco coinciden en que parte del conocimiento relacionado con el desarrollo sustentable debería ser parte de la enseñanza en la Universidad. Las cinco empresas restantes sugieren que el trabajador puede ser capacitado para tener conocimiento sobre temas relacionados con el desarrollo sustentable (ver figura 3).

1.4 Tendencias y necesidades del mercado laboral.

La última pregunta de la encuesta realizada, se refiere a la tendencia y necesidades del mercado, adoptadas en la empresa, observándose una tendencia hacia la conservación del medio ambiente.

Todas las empresas encuestadas coincidieron en que la empresa ha modificado la visión con respecto al medioambiente, implementando Normas ISO 14001, obteniendo certificaciones como industria limpia, inclusión de programas de reciclado y reutilización de sus productos.

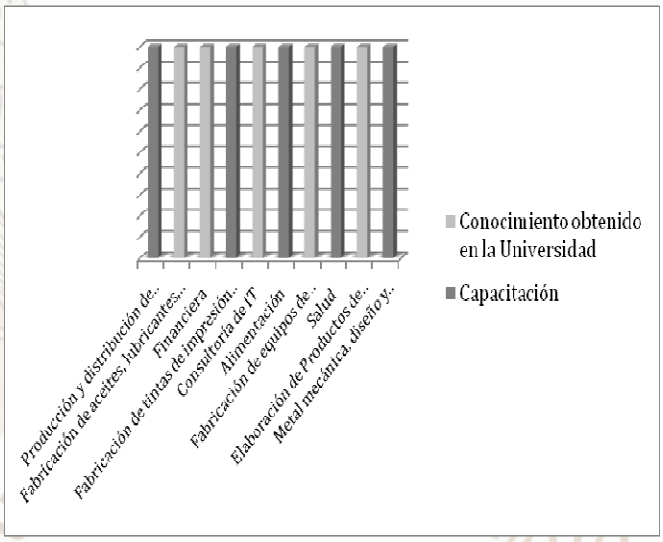


Figura 3. Conocimiento relacionado con el desarrollo sustentable.

Del mismo modo, se han puesto en contacto con instituciones que les asesoren sobre técnicas disponibles en contribución al desarrollo sustentable. La empresa *Metal Mecánica*, mencionó que hasta el año 2005 la política de la empresa solo contemplaba la calidad, a partir de ese año la

política cambió como política de calidad y medioambiente.

Lo anterior, muestra que las empresas han ido adoptando medidas con prácticas relacionadas con el consumo sustentable y la producción sustentable. Lo que modifica las necesidades de preparación de sus trabajadores, actualmente se sirven únicamente de la capacitación a sus empleados.

IV. Resultados y discusión.

En este trabajo se realizó un análisis para conocer las necesidades actuales y la tendencia del mercado laboral de profesionistas en México, la adopción de nuevas medidas a nivel internacional como el uso de herramientas de gestión ambiental, provocan la necesidad de personas más preparadas y con conocimientos en base al desarrollo sustentable. En este estudio se observó que las empresas están adoptando medidas como la elaboración de Análisis de Ciclo de Vida, aplicación de normas ambientales como la ISO 14040 o la necesidad de competir en el mercado internacional haciendo productos más sustentables para cumplir con los requisitos internacionales como las ecoetiquetas.

Lo anterior ha provocado que las empresas requieran personal capacitado entorno a estos conocimientos. Muchas empresas capacitan a su personal, sin embargo, sugieren que este tipo de conocimiento puede ser enseñado en las Universidades a los alumnos que en un futuro serán parte de su equipo de trabajo.

V. Conclusiones

Formar futuros líderes de la sociedad con conocimientos innovadores, hace que estos responsables de la toma de decisiones, tengan las herramientas necesarias para competir en un mercado laboral tan cambiante y que se encuentra en constante evolución.

Para que los jóvenes egresados de la Universidad Autónoma Metropolitana dirijan la sociedad en un mundo que lucha por lograr la sustentabilidad, se debe reorientar la actividad académica y de investigación, para incluir las múltiples y complejas facetas de la sustentabilidad.

El futuro de la ciencia va encaminado por la interdisciplinariedad, debemos servirnos de todas para que adopten el enfoque de ciclo de vida y contribuir a la disminución de los impactos ambientales y fomentar el desarrollo sustentable de nuestra sociedad. Integrar el enfoque de Ciclo de Vida en las diferentes ingenierías y licenciaturas de la Universidad contribuirían a la formación de profesionales con diferentes enfoques del conocimiento.

La constante evolución de las necesidades del mercado hace que el conocimiento en calidad, riesgos, proyectos, entre otros, no sean suficientes para ser competitivos a nivel mundial, lo que genera necesidades en la empresa, que por ahora se están cubriendo con la capacitación de personal en temas de desarrollo sustentable. Lo anterior, ya no será suficiente y en un futuro se requerirá que el desarrollo sustentable sea parte de la enseñanza en las Universidad.

VI. Referencias.

Behrendt, S. *et al.* 1997. Life cycle design. A manual for small and medium-sized enterprises. Springer-Verlag.

Consoli, F., *et al*. 1993. Guidelines for life-cycle assessment: a code of practice, SETAC Worshop, Society of Environment Toxicology and Chemestry (SETAC), Sesimbra, Portugal.

Fava, J. And Hall, J. 2004. ¿Por qué adoptar un enfoque de ciclo de vida? UNEP DTIE.

Fullana, P. and Puig, R., 1997. Análisis de ciclo de vida, Cuadernos de Medio Ambiente, Ed. Rubens.

Güereca, L. 2006. Desarrollo de una metodología para la valoración en el análisis del ciclo de vida aplicada a la gestión integral de residuos municipales. Tesis de doctorado. España, Departamento de Proyectos de Ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña.

Hunkeler, D. *et al.,* 2004. Life Cycle Management. Pensacola, FL, USA. SETAC Press

ISO 14040:2006, Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization.

ISO 14044:2006, Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. International Organization for Standardization.

Jensen, A. A. and Remmen A. (eds) 2004. Background Report for a UNEP Guide to Life Cycle Management. UNEP DTIE.

Remmen, A. and Münster, M. 2003. An Introduction to Life-Cycle Thinking and Management. Copenhagen. Danish Environmental Protection Agency, Danish Ministry of the Environment.

Remmen, A. et al. 2007. Life Cycle Management. Abussiness Guide to Sustainability. UNEP DTIE.

Suppen, N. and Hoof, B. 2005. Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño, Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable, México.

Educación Ambiental sobre reciclaje en el Barrio Villa Mónica del distrito de Santa Marta D.T.C.H -Magdalena-Colombia

Jose Luis Chacin Gómez y Adriana Consuelo Mera Benavides
Universidad del Magdalena
Santa Marta, Magdalena, Colombia
joschg@hotmail.com y adrymera@hotmail.com

Resumen

Toda gestión integral parte esencialmente de la sensibilización de la comunidad, como herramienta primordial para lograr la separación en la fuente de Residuos Sólidos Domiciliarios. Considerando lo anterior, este trabajo muestra mediante la realización de una encuesta en 40 viviendas del barrio Villa Mónica del distrito de Santa Marta, el manejo de los residuos sólidos urbanos antes y después de la etapa de educación efectuada a los habitantes de esta comunidad en la temática de Reciclaje. Con el fin de promover el reciclaje en este sector, se invito a la comunidad al Primer Video Foro Sobre Reciclaje, realizado por la Universidad del Magdalena en convenio con la Cruz Roja Seccional Magdalena, igualmente en cada uno de los hogares se entrego un folleto educativo alusivo al reciclaje proporcionado por la empresa de aseo de la ciudad ESPA y una bolsa de color salmón para separar los materiales reciclables de los no reciclables. Cada semana por espacio de un mes se recolectaron los materiales reciclables, se clasificaron y se cuantificaron, con la ayuda de un Recuperador del Ambiente (Reciclador). Lo anterior, proporcionó un balance positivo de las actividades realizadas, recuperándose en ese periodo de tiempo 25 Kg de Cartón, 12 kg de Plástico, 10 Kg de vidrio, 8 Kg de Aluminio, 7 Kg de papel y 10 kg de otros materiales reciclables, de esta manera se determinó que la educación ambiental sensibiliza a la comunidad, logra favorecer el reciclaje y por ende disminuir el impacto ambiental que generan los materiales que no son reciclados.

Palabras claves: Residuos Sólidos Domiciliarios, Reciclaje, Educación Ambiental, Sensibilización.

Abstract

All management essentially integral part of community awareness, as main tool for achieving source separation of household solid waste. Considering the above, this work shows by conducting a survey in 40 houses in the neighborhood of Villa Monica Santa Marta district, management of municipal solid waste before and after the stage of completed education to the people of this community in the Recycle theme. In order to promote recycling in this sector would invite the community to Prime Video Forum on Recycling, conducted by the University of Magdalena in agreement with the Red Cross Sectional Magdalena, also in each of the homes give an educational brochure alluding to the recycling company provided the city ESPA toiletries and a bag of salmon to separate recyclables from non-recyclable. Each week for one month of recyclables were collected, classified and quantified, with the help of a retriever of the Environment (recycling). This provided a positive assessment of the activities, to recover in that time period 25 Kg Carton, 12 kg of plastic, glass 10 Kg, 8 Kg of Aluminum, 7 kg 10 kg paper and other recyclable materials thus it was determined that environmental education awareness to the community does to promote recycling and thereby reduce the environmental impact generated by the materials that are recycled.

Key words: Residential Solid Waste, Recycling, Environmental Education, Awareness.

I.INTRODUCCIÓN

La educación ambiental es un concepto compuesto por dos términos complejos y necesariamente definibles. La Educación es un proceso global y generalizado y comprende una relación entre los valores, las actitudes y los comportamientos. Los valores determinan las actitudes, quienes a su vez están relacionados con los comportamientos (Goffin, 2008).

Uno de los grandes problemas a nivel mundial es la carencia de educación, la Educación Ambiental generalmente no se considera importante sin embargo, se hace necesaria por las necesidades actuales que presenta nuestro entorno como lo es la separación de los residuos sólidos (UNESCO, 1992).

En Colombia actualmente se generan aproximadamente 40.000 toneladas diarias de residuos sólidos. De esta cantidad, entre el 42% y el 45% de los residuos sólidos que terminan en los rellenos sanitarios son materiales reciclables, y de éstos sólo se recupera aproximadamente el 5%. (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

Una posible alternativa para solucionar el problema de la contaminación ambiental que origina los residuos sólidos urbanos, es el reciclaje de materiales como el papel, el cartón, el vidrio, los metales y material orgánico (Lund, 1996).

En la mayoría de ciudades en Colombia, es evidente la falta de reciclaje de los residuos sólidos urbanos, la ciudad de Santa Marta no es la excepción, la poca educación ambiental en esta temática debido a diversos factores, ha llevado a mezclar todo tipo de residuos reciclables, no reciclables, desechos químicos y hasta biológicos en una misma bolsa o recipiente. Este problema se presenta básicamente porque las personas no poseen claridad de cómo separar los residuos sólidos que generan en sus hogares como resultado de sus actividades diarias (REDISA, 2009).

La separación, clasificación y reutilización de los residuos sólidos, genera el aumento de la vida útil de los rellenos sanitarios, disminuye la extracción y procesamiento de materias vírgenes, reduce los gases efecto invernadero. , se ahorra energía, se genera empleo y se evita el deterioro paisajístico y en algunos casos se reduce afectaciones a la salud humana en zonas aledañas al sitio de disposición final. En general el reciclaje de residuos sólidos trae una serie de beneficios desde el punto de vista financiero, social y ambiental (Kiely, 1999).

Es necesario destacar que el reciclaje requiere un material limpio que cumpla los niveles de reutilización. Por lo anterior, se hace necesario para ello el almacenamiento, clasificación y recogida por separado de cada uno de los materiales a reciclar, aumentando así el valor económico de los mismos y disminuyendo procesos de limpieza (Tchobanoglus, Theisen y Vigil, 1994).

El reciclaje de los desechos es un proceso que consta de las siguientes etapas:

- Separar los residuos en orgánicos e inorgánicos.
- Clasificar los componentes inorgánicos en papel, cartón, plástico, vidrio y metales.
- Reciclar.
- Llevar todos estos materiales a las industrias correspondientes que procesaran cada material de desecho con un tratamiento adecuado.

El reciclaje permite que algunos de los componentes de los residuos sólidos urbanos se transformen en materia prima útil y de menor costo para las industrias. El tratamiento industrial de la basura depende del tipo de desecho.

El **papel y el cartón**, se procesan por tratamiento químico para disolverlos, quitarles las impurezas y luego se presionan y se prensan para producir nuevo papel.

El **vidrio**, se procesa por fundición a grandes temperaturas, para luego formar nuevos envases y una gran variedad de objetos de adorno.

Los **metales**, como el hierro y el aluminio, se procesan también por fundición a altas temperaturas, para formar envases de latas y otros productos diversos como juguetes.

Los **desechos orgánicos**, incluyendo los restos de alimentos, se procesan quitándole la humedad por calentamiento, para luego triturarlos y convertirlos en abono para las plantas (IDEAM, 2008).

El **plástico,** se muele, luego se limpia **y** por último se realiza un proceso de peletizado. El plástico granulado es fundido y se pasa a través de un tubo delgado donde toma forma de tubito al enfriarse en un baño de agua. Una vez frío, es cortado en pedacitos llamados pellets (Ecologismo, 2010).

Uno de los objetivos de este trabajo es contribuir a resolver el problema que puede generan la inadecuada gestión de los residuos sólidos, mediante la creación de conciencia comunitaria utilizando campañas de recolección selectiva, y generando así diversos beneficiosa través de la recuperación de materiales reciclables y reusables.

II.MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: Descripción general.

El departamento del Magdalena se localiza en la parte norte de Colombia (Figura 1) y a lo largo del río del que toma su nombre. Con una superficie 23.188 km², representa aproximadamente el 2% del territorio nacional y el 15,3% de la región Caribe. Este departamento está conformado por 29 municipios y el Distrito Histórico y Turístico de Santa Marta, considerada la capital del Departamento, la cual posee una población de 447.860 habitantes y tiene una extensión de 239.935 hectáreas de la superficie terrestre de la Costa Caribe Colombiana (Romero, J., 2006).

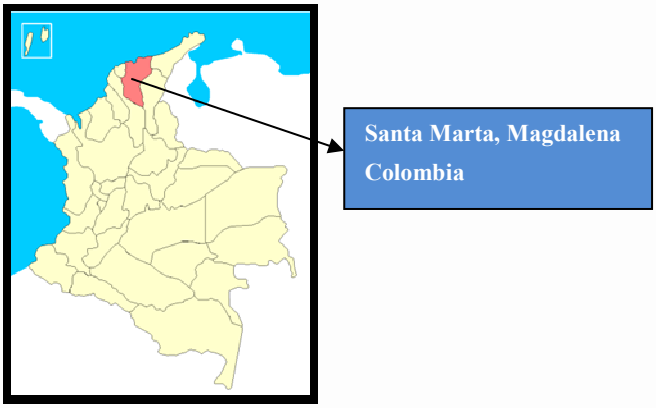


Figura 1. Mapa de Colombia, Departamento del Magdalena, Santa Marta.

La metodología consistió en realizar una encuesta previa sobre el reciclaje en 40 viviendas del Barrio Villa Mónica (Ver Figura 2), ubicado en el distrito de Santa Marta, Colombia. Con el fin de identificar el manejo realizado por los habitantes del sector a los residuos sólidos urbanos. Posteriormente se realizo el primer Video-foro sobre el reciclaje el día 15 de mayo del 2008, organizado por la Universidad del Magdalena, la Cruz Roja Colombiana y la empresa de aseo ESPA. El cual estuvo integrado por docentes de la Universidad del Magdalena, Delegados de ESPA, Delegados de la Cruz Roja Colombiana, y Estudiantes de la Universidad del Magdalena.



Figura 2: Encuesta sobre el reciclaje en el Barrio Villa Mónica.



Figura 3.Villa Mónica, Santa Marta, Colombia.

Se entregaron en las 40 viviendas del barrio Villa Mónica (Figura 3), una bolsa plástica de color azul y una bolsa de color negro (Figura 4 y 5), para la adecuada separación de los residuos sólidos reciclables y la materia orgánica, también se entregaron folletos alusivos al reciclaje, donde explican la separación de los mismos.



Figura 4. Entrega de bolsas y folletos alusivo al reciclaje.



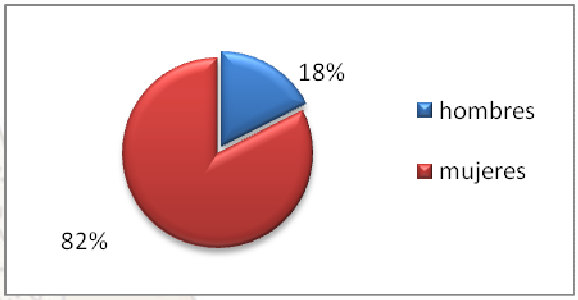
Figura 5. Entrega de bolsas y folletos alusivos al reciclaje.

La recolección de los residuos sólidos reciclables estuvo a cargo de un recuperador de la Cooperativa de Recicladores RENACER, su tiempo de recolección fue semanal, se acordó con él recoger los residuos reciclables como cartón, papel, vidrio, plástico y metales, los días miércoles con el paso del camión recolector de basuras de la empresa ESPA**.**

La cuantificación de los residuos sólidos reciclables se realizó semanalmente durante un lapso de tiempo de un mes, en el cual se logro recolectar 72 Kg de residuos sólidos reciclables.

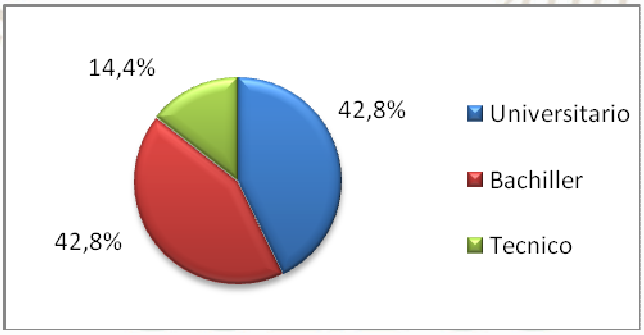
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta los datos estadísticos obtenidos en la encuesta realizada sobre reciclaje en el Barrio Villa Mónica.



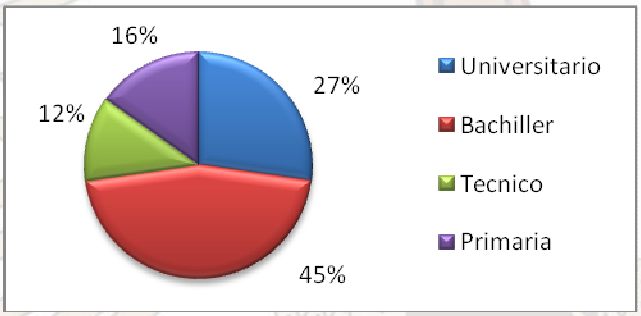
Gráfica 1. Determinación de géneros.

La gráfica 1, muestra que el 82% de las personas encuestadas son mujeres, esto se debe a que muchas son amas de casa y aunque poseen un título profesional o técnico, están sin trabajo, sin embrago el 18% de los hombres encuestados se dedican al hogar porque se encuentran desempleados.



Gráfica 2. Nivel de escolaridad en el género masculino.

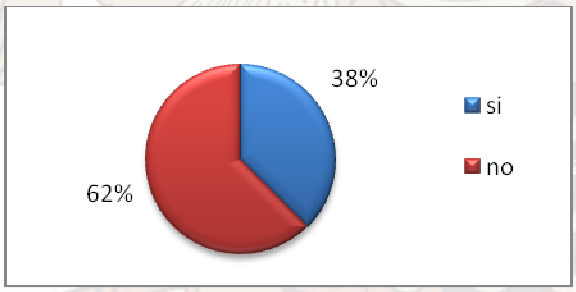
El nivel de escolaridad es importante porque permite establecer un mayor grado de comprensión por las personas encuestadas. El 42.8% poseen un título universitario y el 42.8% solo tienen el título de bachiller, mientras que el 14.4% poseen estudios técnicos. En general el 57.2% tienen una educación profesional, que genera mayor facilidad de entendimiento de las temáticas a tratar sobre el reciclaje.



Gráfica 3. Nivel de escolaridad en el género femenino.

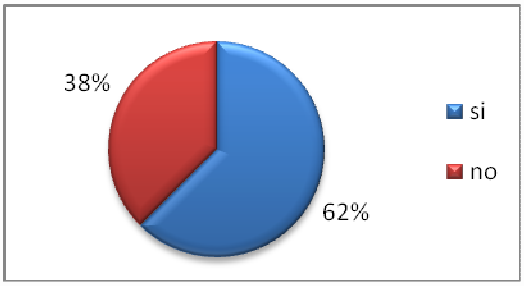
En comparación con el gráfico 2 las mujeres poseen un índice de escolaridad bajo, solo el 39% tiene un título universitario o técnico, mientras que el 61% restante solo cursaron el bachillerato, en su mayoría, estas amas de casa poseen un negocio local o se dedican a recibir pensionados (inquilinos) para costear los gastos de la casa.

Encuesta sobre el reciclaje:



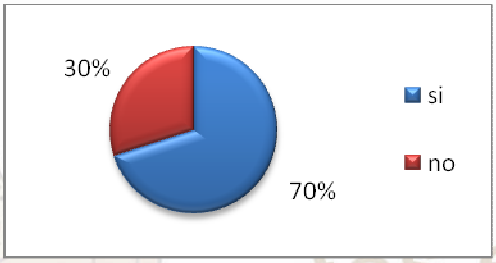
Gráfica 4: ¿Práctica el reciclaje en su vivienda?

La gráfica 4, muestra claramente que más del 60%, de las personas encuestadas no practican el reciclaje como una rutina diaria, y mezclan todos los residuos en una sola bolsa o recipiente plástico, y un 38% admite practicar el reciclaje, sin embargo, lo anterior no tiene sentido porque aunque se recicla, todos los residuos sólidos separados selectivamente o no, son recogidos por el servicio de aseo de la ciudad mezclando todo tipo de residuos, perjudicando así el proceso previo de reciclaje.



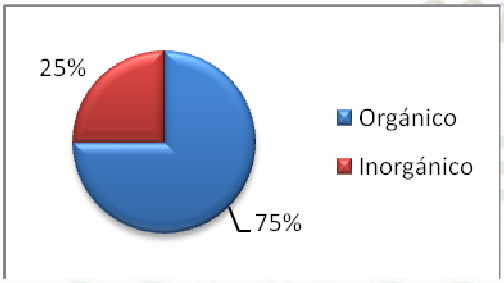
Gráfica 5. Conoce los beneficios del reciclaje?

En la gráfica 5, el 62% del personal encuestado conoce los beneficios de la práctica de reciclaje por diversos medios de comunicación como: televisión, revistas y documentales, sin embargo, esta práctica no se realiza porque es muy poco motivante y la comunidad en general no lo aplica porque otros habitantes no lo realizan.



Gráfica 6. Le gustaría participar en charlas sobre el reciclaje?

De acuerdo a la gráfica 6, el 70% de la población encuestada está interesada en participar en charlas sobre el reciclaje y asistir al Primer Video-foro sobre el reciclaje, realizado en la Universidad del Magdalena.

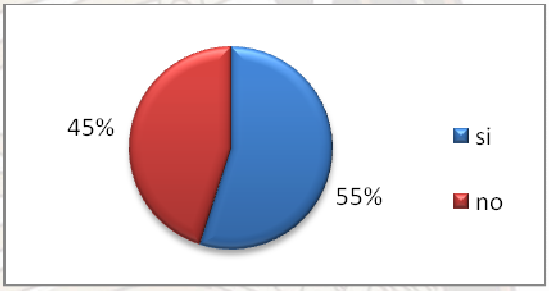


Gráfica 7. Cantidad de residuos sólidos generados en el barrio Villa Mónica.

La gráfica 7, muestra que el 75% de los residuos sólidos domiciliarios generados en las viviendas del

barrio Villa Mónica, son en su mayoría desechos orgánicos (restos de comidas, hierba, heces de animales), y un 25% pertenecen a materiales reciclables como: plástico, vidrio, papel, cartón y metales.

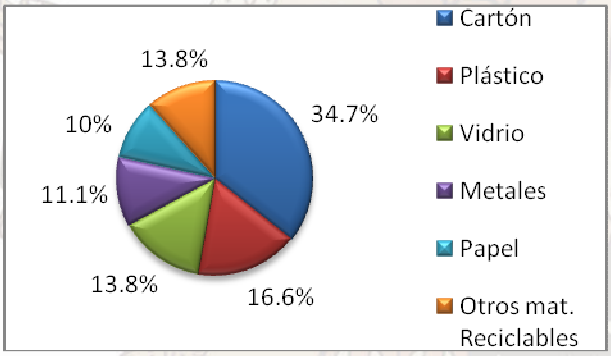
Porcentaje de asistencia al primer video-foro sobre el reciclaje:



Gráfica 8. Asistencia al primer Video-foro sobre el reciclaje.

El 55% de los habitantes encuestados en el sector Villa Mónica, asistieron al primer Video-foro sobre el reciclaje, con ello se muestra el interés por el beneficio propio y a nivel local de lo que esto representa para la humanidad y el bien común.

Datos de recolección por mes:



Gráfica 9. Porcentaje de residuos sólidos reciclables/mes.

La gráfica 9, muestra que el residuo sólido que más se genera es el cartón con un 34.7% de los residuos recolectados, seguido del plástico con 16.6%, con un 13.8% está el vidrio y otro 13.8% lo aportan otros materiales reciclables (tela, cuero, ropa usada), con un 11.1% los metales, esta es una cifra baja teniendo en cuenta que los metales tienen un peso alto, y por último se encuentra el papel con un 10% de los residuos sólidos reciclables.

Tabla 1: Material reciclado en un mes, expresado en Kg y porcentaje de residuos sólidos reciclables obtenidos en el Barrio Villa Mónica.

MATERIAL	%	Kg
Cartón	34,7	25
Plástico	16,6	12
Vidrio	13,8	10
Metales	11,1	8
Papel	10	7
Otros materiales reciclables	13,8	10
TOTAL	100%	72

La recolección de los residuos sólidos reciclables en un mes fue de 72Kg en 40 viviendas, teniendo un promedio de 1.8Kg/vivienda/mes.

Es importante resaltar que la labor que realizan los recuperadores (recicladores) es muy importante, su labor evita que los desechos potencialmente reutilizables terminen en los rellenos Sanitarios.

IV. CONCLUSIONES

El presente proyecto permitió aplicar estrategias en educación ambiental para motivar a los habitantes del barrio Villa Mónica a iniciar con el hábito del reciclaje y a otros a continuar con esta actividad tan importante para el cuidado del ambiente.

Al finalizar este proyecto se muestra claramente que la campaña educativa en la temática de reciclaje arrojó un resultado satisfactorio porque se logró que todos los habitantes del barrio Villa Mónica reciclaran en altas y bajas proporciones.

En el Barrio Villa Mónica en un mes se recolecto de materiales reciclables aproximadamente 72 Kg, de los cuales 25Kg son Cartón, siendo este un 34.7% del total.

Los habitantes del Barrio Villa Mónica mostraron interés en la temática desarrollada, esto se evidencia en la participación activa en los eventos relacionados (Video foro) con la misma e igual-

mente con las actividades realizadas tendientes a clasificar los residuos sólidos en sus hogares.

Lo satisfactorio de este trabajo fué tratar con personas que en su mayoría no tenían un amplio conocimiento sobre los beneficios del reciclaje, pero con la asistencia al primer Video-foro sobre el reciclaje y el seguimiento continuo de educación ambiental durante un mes, se logró sensibilizar a la comunidad y crear conciencia ciudadana y cultura ambiental en el manejo adecuado de residuos sólidos.

V. RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a los habitantes del Barrio Villa Mónica por su colaboración en el proceso de Educación Ambiental sobre el reciclaje y en la obtención de los datos.

REFERENCIAS

Ecologismo. Proceso de reciclaje de plásticos. (Consultado el 16 de septiembre del 2008). Disponible en: http://www.ecologismo.com/2008/08/11/proceso-de-reciclaje-de-plasticos/

Goffin L. Formación de Actitudes y valores en Educación Ambiental. Luxemburgo, Bélgica. 2008. (Consultado el 15 de septiembre del 2008). Disponible en: http://educacionambientalsena.blogspot.com/

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales. (Consultado el 15 de septiembre del 2008). Disponible en: http://www.ideam.gov.co/ninos2/ma_ac03.htm

Kiely G. 1999. Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. McGraw-Hill/interamericana. Cap. 14. Pág. 843.

Lund H. 1996. Manual McGraw del reciclaje. Vol. I. McGraw Hill.Pag 1.2.

Ministerio de Medio Ambiente. 2002. Guía Ambiental para la selección de tecnologías de Manejo Integral de Residuos Sólidos. Bogotá, Colombia. (Consultado el 16 de abril del 2010). Disponible en: http://www.uninorte.edu.co/divisiones/Ingenierias/IDS/upload/File/Memorias%20II-SIIR/6a-Angarita-Colombia-001.pdf

REDISA, 2009. Programa interinstitucional para la separación y Valorización de residuos sólidos aprovechables en la Ciudad de Tunja. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. (Consultado el 12 de abril del 2010). Disponible en: http://www.uninorte.edu.co/divisiones/Ingenierias/IDS/upload/File/Memorias%20II-SIIR/6a-Angarita-Colombia-001.pdf

Romero J. Movilidad social, educación y empleo: Los retos de la política económica del departamento del magdalena. Banco de la República Colombia, Centro de Estudios Económicos Regionales. [En línea]. (2006). (Consultado el 16 de abril 2009). Disponible en: http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/documentos/DTSER-74.pdf

Tchobanoglus G. Theisen H. Vigil S. 1994. Gestión integral de Residuos Sólidos. McGraw Hill. Vol. II. Pág 959.

UNESCO. 1992. Declaración de Río de Janeiro sobre Desarrollo y Ambiente. Brasil. (Consultado el 16 de mayo del 2009). Disponible en: http://educacionambientalsena.blogspot.com/

Institucionalización del promotor de reciclaje en los sistemas municipales de prevención y gestión integral de residuos sólidos.

Luis Carlos Mercado Maciel
Maestría en Gestión y Desarrollo Social. Universidad de Guadalajara.
Guadalajara, Jalisco, México
Email: luiscarlos.mercadomaciel@gmail.com

Resumen
La recolección selectiva de residuos sólidos es el paso inicial para garantizar el correcto funcionamiento de un sistema de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS). La calidad de la recolección selectiva tiene correlación con la cantidad final de residuos potencialmente revalorizables, y por ende, también existe una relación indirecta entre la calidad de la recolección selectiva y la cantidad de residuos que terminan en un sitio de disposición final. El presente estudio se centra en una estrategia para aumentar la calidad de la recolección selectiva: la institucionalización de un recurso humano, conocido como Promotor de reciclaje, el cual se presenta como un "enlace" entre la ciudadanía y el camión recolector de residuos sólidos. Dicho "enlace" tiene las ventajas de que permite: aumentar la calidad de la clasificación de residuos orgánicos e inorgánicos, generar empleos directos y permanentes en el municipio, disminuir la presión que tienen los departamentos de aseos y limpia, mantener campañas permanentes de educación ambiental, mejorar la PGIRS con la infraestructura existente, eficientar la labor cotidiana de los camiones recolectores y sus operarios, entre otros.

Palabras Clave – participación ciudadana, reciclaje, sector social, educación ambiental.

Abstract
Selective waste collection is the inicial step to ensure the proper functioning of a Solid Waste Management System (SWMS). The quality of the selective waste collection is correlated with the final amount of valuable waste, and therefore, there is also an indirect relationship between the quality of selective waste collection and the amount of solid waste that is taken into landfills and other final disposal facilities. This study focuses on a strategy to increase the quality of selective waste collection: the institutionalization of a human resource, known as *Promotor de reciclaje*, which is presented as a "link" between the public and solid waste trucks. The "link" has the following advantages: it increases the quality of the classification of organic and inorganic waste, it generates jobs, it reduces the pressure on cities and town's governments, it maintains ongoing environmental education campaigns, it improves the SWMS without investing in new infrastructure, it improves the daily efficiency of the garbage trucks and their operators, as well as other advantages.

Keywords – citizen participation, recycling, social sector, environmental education.

INTRODUCCIÓN

La gestión integral de residuos sólidos (GIRS) ha sido considerada tradicionalmente como una responsabilidad exclusiva del Estado. Sin embargo, es posible percibir que existe una tendencia a concesionar el servicio a empresas privadas que realizan la recolección, transporte, transferencia y disposición final de residuos. Al mismo tiempo, están naciendo movimientos y organizaciones ciudadanas que reclaman y proponen mejores formas de realizar la gestión de los residuos sólidos.

La GIRS es atractiva para la iniciativa privada (IP) porque la obtención de utilidades está garantizada por una baja o nula incertidumbre. En este sentido, a partir de los contratos de concesión que establecen que el ayuntamiento pagará a la empresa concesionaria de acuerdo a la cantidad de residuos que entren al vertedero, se generan incentivos perversos para que las empresas no den la prioridad necesaria a las prácticas sustentables de GIRS, entendiendo que la recolección selecti-

va secundaria[1] es el origen de estas prácticas que disminuyen el impacto en el entorno natural.

El financiamiento de la GIRS en el municipio puede provenir de dos distintas fuentes: ya sea de la partida presupuestal del ayuntamiento (financiamiento exógeno) o de la venta de materiales reciclables (financiamiento endógeno)[2]. Cada fuente de financiamiento tiene distintos niveles de incertidumbre. El financiamiento endógeno está atado a la disponibilidad, calidad y precio mundial de los materiales reciclables. El financiamiento exógeno que es provisto por el ayuntamiento carece de incertidumbres reales, ya que sólo depende de la cantidad de toneladas que son llevadas al vertedero, y esta variable está en aumento, no en detrimento. A partir de este planteamiento podemos ver que el sector privado, en los casos en que se ha apropiado de las concesiones municipales de GIRS, logra dominar la fuente de financiamiento más conveniente, y por ende, ha dejado de buscar fuentes endógenas de ingresos debido a que esto pondría en duda la tesis de que el ayuntamiento debe financiar el 100% de las operaciones de GIRS. (Crozier & Friedberg, 1990, pág. 21)

Sin embargo, los gobiernos municipales y las empresas privadas no están solos en la GIRS. Existen actores sociales que están indisolublemente atados a la gestión de residuos: pepenadores y carretoneros, además de asociaciones y grupos organizados de la sociedad civil que proponen mejoras al actual modelo concesionario de GIRS que obstruye las prácticas sustentables. Estos actores persiguen una lógica distinta a la del sector privado. En los municipios que cuentan con servicios de GIRS concesionados a empresas privadas, el sector social ha subsistido a partir de fuentes de financiamiento endógenas (venta de materiales reciclables), de manera intermitente debido al alto nivel de incertidumbre con el que tienen que lidiar en el día a día.

La incertidumbre funciona como un incentivo para buscar nuevas formas de interactuar con la ciudadanía. Debido a esto, los actores del sector social son capaces de generar relaciones más estrechas y permanentes con sus conciudadanos, para así garantizar que ellos les provean de los insumos (residuos reciclables clasificados) que requieren para subsistir. Tanto el carretonero, el pepenador y/o el centro de acopio de la colonia o de la escuela, tienen mayores posibilidades de fomentar conductas más sustentables en la ciudadanía, debido a que los ciudadanos reconocen que su lógica de funcionamiento requiere de la participación de todos para que puedan seguir existiendo.

Dicho lo anterior, ya podemos reconocer dos dimensiones que se entrecruzan en la GIRS municipal. Por un lado tenemos la dimensión sistémica, representada por el Estado que concesiona las operaciones municipales[3] de GIRS a la IP. Por el otro tenemos la dimensión estratégica, que recae en la sociedad civil. Cada dimensión funciona con mecanismos, actores y recursos diferentes. Los actores de la dimensión sistémica (empleados, inversionistas, funcionarios, políticos) realizan sus operaciones cotidianas bajo un espectro limitado de variables, ya que su función en la IP o en el gobierno carece de la incertidumbre que subsiste fuera de esas organizaciones. La certidumbre de la que se goza al interior de estas organizaciones está garantizada por su capital político – financiero, y por lo tanto, la gama de mecanismos que han generado sólo puede funcionar bajo la suposición de que todos los actores están interesados en la estabilidad de ese sistema. Dicha suposición no puede extrapolarse a la socie-

[1] Recolección selectiva con clasificación secundaria es aquella en la que, además de separar orgánicos e inorgánicos, también se clasifican los inorgánicos en: plásticos, papel y cartón, metales, vidrios y otros.

[2] Cabe mencionar otras dos modalidades de financiamiento que no trataremos aquí: la "propina" que se le entrega casa por casa a los recolectores y los proyectos "Mecanismo de Desarrollo Limpio" (MDL) que se desarrollan en los vertederos clausurados a partir de la captura de gases de efecto invernadero.

[3] Cabe aclarar que la concesión sólo es a nivel operativo. El municipio nunca abandona la responsabilidad que le confiere la reforma al artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), realizada el 23 de diciembre de 1999, en la que se especifica el tipo de residuos (no peligrosos) cuya gestión cae en la jurisdicción del municipio.

dad civil ya que esta involucra mayor diversidad de actores y mecanismos de funcionamiento. Estos mecanismos de funcionamiento de la sociedad civil se pueden clasificar dentro de la dimensión estratégica, la cual carece del capital político – financiero, pero a cambio produce constantemente un insumo propio, el capital social. (Crozier & Friedberg, 1990, pág. 195)

Cabe aclarar que no estamos hablando de ninguna antinomia. Ambas dimensiones (la sistémica y la estratégica) son complementarias. Las alianzas políticas y los medios de producción que son tan comunes a la dimensión sistémica, son extraños para la sociedad civil, quien compensa estas carencias con mecanismos humanos de regulación, los cuales son catalizados por el capital social (confianza) que se genera a partir del reconocimiento común de necesidades. Así, en la dimensión estratégica se generan microredes sutiles y confiables que se extienden, como un fluido, al interior de cada eslabón del tejido social. Debido a esto, los actores de la dimensión estratégica tienen mayor potencial de generar prácticas de GIRS más sustentables, ya que a diferencia de los mecanismos que utiliza la IP o el Estado, la sociedad civil no pretende ignorar ni escamotear las contingencias que ocurren permanentemente en la sociedad. Así, mientras se siga creyendo que la GIRS puede mejorar a través de decretos y campañas mediáticas, lo único que se seguirá generando serán sistemas de GIRS impermeables a la ciudadanía. (Crozier & Friedberg, 1990, pág. 202)

Por todo lo anterior, se propone que debemos avanzar hacia un modelo de GIRS municipal en el que se generen instituciones del sector social que sean capaces de amalgamar la lógica de la sociedad civil con aquella de la IP y los gobiernos municipales. En su momento, las empresas privadas introdujeron mecanismos que mejoraron la cobertura de la GIRS, esto ocurrió en un escenario en el que los ayuntamientos demostraban limitaciones para organizar sus recursos humanos y administrar los departamentos de aseo. (Bernache Pérez, 2006, pág. 497).

El panorama actual de incremento cuantitativo en cobertura de recolección y en generación de residuos, requiere un cambio cualitativo en los sistemas de GIRS. Se necesita la inclusión y empoderamiento de nuevos actores que sean capaces de llegar a los estándares que la sociedad y el planeta demandan. No sólo se trata de abandonar prácticas antiguas, ya que esto sólo sería temporal y artificial. Se requiere que una nueva ideología sustituya a la que ya existe en los municipios, es primordial que surjan nuevas prácticas que neutralicen a las anteriores y las conviertan en algo obsoleto, de lo contrario volverían a surgir. Es urgente institucionalizar a los promotores de reciclaje, en cualquier forma en que se les encuentre, es necesario que existan organizaciones con capacidad de diálogo para complementar, potenciar y regular las acciones de la IP, que siempre está limitada por su lógica lucrativa. Dicha complementariedad, potenciación y regulación también aplica para el Estado, que es tan propenso a caer en las premuras trianuales, así como en prácticas clientelares que en nada fomentan el desarrollo de las comunidades. (Cabrero Mendoza, 2005, pág. 359)

Por todo esto, la cuestión no apunta hacia la relevancia de la participación del sector social en la GIRS municipal. La pregunta va dirigida hacia cómo hacer esto viable. (Cohen & Franco, 2005, pág. 86) En este contexto se enmarca el presente estudio, que a través de dos casos de esquemas mixtos en los que se han fusionado prácticas del sector social en mecanismos de empresas privadas de recolección y reciclaje de residuos sólidos, se han logrado niveles nulos de disposición final en vertederos, a partir de financiamientos endógenos. Estos casos fueron llevados a cabo en las ciudades de Guadalajara, Jalisco y Xalapa, Veracruz.

MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Guadalajara, Jalisco.

Se efectuó una prueba piloto en la colonia Jardines del Bosque sección Norte en la ciudad de Guadalajara, Jalisco. La prueba consistió en la

selección de 30 casas que accedieron a realizar la clasificación primaria[4] en un periodo de ocho semanas. Todas las casas se encuentran ubicadas en la misma manzana. En esas casas se realizó una recolección a la semana. En dicha recolección se entregaron residuos inorgánicos sin clasificación secundaria, sólo primaria. El financiamiento para la prueba piloto fue proporcionado por una empresa privada de recolección de residuos, llamada Logimorphics, la cual ya no se encuentra en funcionamiento y fue propiedad del investigador.

La recolección se realizó de manera manual, con un carro jalado por el investigador, en el que se colocaron dos supersacos, cada uno con capacidad de 1 m^3. En esta prueba piloto se entregaron manuales explicativos a la ciudadanía participante, con la finalidad de que se comprendiera cuáles eran los residuos que se debían separar. Cabe aclarar que no todos los residuos inorgánicos caen en la categoría de reciclables, esto debido principalmente a composiciones mixtas de algunos artículos (vidrio – plástico, metal – plásticos, etcétera). Los residuos inorgánicos no reciclables fueron excluidos de la recolección. El caso del poliestireno tuvo un fin distinto, ya que era considerado al inicio de la prueba como reciclable, sin embargo, en la práctica, no fue posible comercializarlo sino donarlo a una empresa recicladora de plásticos llamada Novajal. Los residuos orgánicos y sanitarios no fueron recolectados, y en los casos en que por error se mezclaron con los residuos reciclables, se les extrajo y se dispuso de ellos a través del servicio municipal de recolección.

Un beneficio que se planteó a la ciudadanía fue que un porcentaje de los ingresos monetarios obtenidos a partir de la venta de los materiales acopiados, sería canalizado a la asociación de vecinos, con la finalidad de que se utilizara para el beneficio común. Se acordó que el porcentaje sería de 70% para la colonia y 30% para la empresa. Sin embargo, la cuota de la empresa aumentó un 10% para llegar al 40%, debido a que en una transacción de compra-venta con la recicladora de papel, por error se mezclaron 200 kilogramos de papel blanco provenientes de un cliente privado de Logimorphics.

En la prueba piloto se contó con la participación completa de un edificio de departamentos. En este caso, se colocaron contenedores específicos para cada tipo de residuos reciclables, como se puede ver en la imagen uno. En el resto de los casos, los residuos reciclables fueron colocados en una bolsa y puestos en la banqueta el día de la recolección[5] o en su defecto, fueron entregados al momento de pasar y llamar a la puerta, esto último en las casas que no dejaban sus residuos reciclables en la banqueta.



Imagen 1. Contenedores para recolección selectiva.

Una vez realizada la recolección, se procedía a realizar la clasificación secundaria, tomando un promedio de cinco horas la realización de esta actividad, además del tiempo que tomaba cada recorrido semanal de recolección. En total, se requirió un promedio de 40 horas para realizar la totalidad de la clasificación secundaria (de las ocho semanas). Dicha clasificación fue efectuada por el investigador. Una vez clasificados los residuos fueron transportados a su lugar de venta, esto en un vehículo con capacidad de carga de una tonelada, como se puede ver en la imagen dos. No se realizó ninguna compactación de los residuos reciclables. Estos fueron acopiados tem-

[4] La prueba se realizó antes de que existiera la obligatoriedad de separar los residuos en orgánicos, inorgánicos y sanitarios, en la ciudad de Guadalajara.

[5] La recolección se realizó los días martes durante la mañana, antes de que pasara la recolección municipal y levantara todo.

poralmente en una casa, hasta reunir el volumen necesario para llenar el vehículo y llevarlo a la industria recicladora.



Imagen 2. Vehículo de transporte de los residuos clasificados.

Los resultados cuantitativos obtenidos en términos de materiales, permitieron que 831 kilogramos de materiales no llegaran al vertedero de Los Laureles, propiedad de la empresa concesionaria de la GIRS de Guadalajara, CAABSA Eagle S.A de C.V. En la tabla 1 se desglosa por tipo de material las distintas cantidades recolectadas y comercializadas, así como las utilidades obtenidas.

Esta prueba piloto demostró que el modelo aplicado de GIRS, a pesar de su enfoque novedoso en el que, limitando el número de residuos que se recolectan, se logra tener cero disposición final en vertederos, no es viable de la manera en que se aplicó. La discusión respecto a los resultados se llevará a cabo más adelante, sin embargo, se puede adelantar que la clasificación secundaria debe darse en origen para evitar ineficiencias, que los bajos precios de compra de la industria recicladora (en pequeños volúmenes) afectan de manera negativa el funcionamiento del modelo, que comenzar repentinamente con la clasificación de múltiples residuos no es la manera más eficiente, que la preexistencia no coordinada de un sistema municipal de GIRS desincentiva la participación en modelos como el que se describió y que la falta de canales de comunicación permanente es una limitante para este tipo de proyectos. Todas estas situaciones que se encontraron en la prueba piloto (que finalmente no se convirtió en un proyecto permanente debido a tantas limitantes a las que en su momento no se encontró solución) fueron ya resueltas en un proyecto realizado en Veracruz a partir de la inquietud de una empresa recicladora de plásticos que decidió aplicar un modelo similar, aunque más completo, y además, con un enfoque social.

Tabla 1. Reporte de la prueba piloto en la colonia Jardines del bosque sección Norte.

1.2 Xalapa, Veracruz.

El caso de Xalapa fue presentado por Jesús Vite Carballo[6], en el marco del 3° Encuentro de la 6ª generación de la Red Nacional de Promotores Ambientales para la Prevención y GIRS, de la red GIRESOL (Vite Carballo, 2009). En este caso, la inquietud de generar una red de promotores de reciclaje surge desde la iniciativa privada, pero no

[6] Gerente general del centro de acopio Carvit en Xalapa, Veracruz.

REPORTE FINAL DE PRUEBA PILOTO JARDINES DEL BOSQUE				
CONCEPTO	PESO	PRECIO	TOTAL	TOTAL
METALES				
CHATARRA	28 KG	$ 3.00	$ 84.00	
ALUMINIO	10 KG	$ 17.00	$ 170.00	**$ 254.00**
VIDRIO				
100 KG DONADOS POR CARECER DE FACTURA				**$ -**
PLÁSTICOS				
HDPE COLOR	14 KG	$ 2.90	$ 40.60	
HDPE COLOR	10 KG	$ 2.80	$ 28.00	
HDPE LECHERO	6 KG	$ 3.00	$ 18.00	
HDPE LECHERO	1 KG	$ 3.80	$ 3.80	
PET	40 KG	$ 2.80	$ 112.00	
PEBD	12.2 KG	$ 3.00	$ 37.00	**$ 239.00**
FIBRAS				
PAPEL	290 KG*	$ 0.80	$ 232.00	
PAPEL	140 KG-20% HUMEDAD	$ 0.90	$ 100.00	
CARTON	90 KG	$ 0.70	$ 63.00	
CARTON	90 KG	$ 0.80	$ 72.00	**$ 467.00**
TOTAL	**831 KG**			**$ 960.00**
			COLONIA 60% =	**$ 576.00**
			LOGIMORPHICS 40% =	**$ 384.00**

* Se agregaron 200 kg de papel blanco de un cliente privado de Logimorphics.De ahí proviene el aumento de un 10% al porcentaje que corresponde a Logimorphics.

El Poliestireno (desechables de hielo seco y de los de plástico crujiente) no tiene compradores.

del sector de la recolección y disposición final, sino del sector de los recicladores, a quienes conviene que se aumente la cuota de materiales reciclables disponibles.

El proyecto de Xalapa es utilizado en el presente estudio para comparar dos modelos que buscan ofrecer una alternativa similar. No se busca analizar de manera exhaustiva el modelo de Xalapa ni se pretende que las experiencias obtenidas en lugares distintos, con sociedades que están expuestas a *n* variables endémicas, sean generalizables. El objetivo de realizar esta comparación es demostrar que la idea de tener una GIRS municipal con mayor participación del sector social está presente en distintas regiones del país, y que la curva de aprendizaje generada en cada experiencia puede tener potencial explicativo para casos ajenos, sin que por esto se pueda generalizar a todas las experiencias municipales de GIRS en las que la se encuentre un enfoque social.

Debido a que este proyecto nace como iniciativa de una empresa transformadora de plásticos, en un inicio la recolección que se realiza es únicamente de PET. En la etapa inicial, el proyecto se vale de una brigada de sensibilización, la cual realiza visitas casa por casa, invitando a la ciudadanía a participar en el programa de acopio de materiales reciclables, iniciando con PET y con posibilidades de ampliarse a otros.

Esta brigada de sensibilización es la encargada de facilitar la educación ambiental necesaria para que las personas tengan conocimiento acerca de cómo identificar el PET y la importancia de separarlo para su posterior reciclaje. Una vez que los habitantes de la casa han aceptado participar en el programa, se coloca una placa con visibilidad hacia la calle, en dicha placa se especifica que esa casa participa en el programa, y ahí mismo se coloca un gancho donde se puede colgar una bolsa con el PET. Dicha placa se coloca donde más convenga a la familia que habita la casa y en un lugar donde también sea accesible para el promotor de reciclaje que recolectará el plástico.

El promotor de reciclaje es la persona que se encarga de realizar la recolección del PET, contratada por la empresa recicladora llamada Carvit. Cada promotor tiene una zona asignada, dentro de esa zona se visitan todas las casas que participan en el programa y se recolecta el PET que hayan generado y colgado en una bolsa en la placa que se colocó previamente. Estas visitas son quincenales, ya que existe un promotor por zona, la zona se divide en partes y cada parte es visitada en un día distinto. La recolección la realiza cada promotor valiéndose de un "diablito"[7] con un supersaco de un metro cúbico de capacidad.

El vínculo entre el promotor y la recicladora se da en un punto de acopio temporal, en el que se acopia diariamente el PET para que sea recogido por el transporte de Carvit. La empresa sabe cuándo se llena el contenedor temporal debido a que el promotor le avisa mediante un mensaje de texto o una llamada. El vehículo que se utiliza para transportar el PET desde el punto de acopio temporal hasta las instalaciones de Carvit, es una camioneta de 1.5 toneladas. El peso del material acopiado se registra diariamente, de manera que cada semana se sabe cuántos kilos recolectó cada promotor.

El salario del promotor depende de la cantidad de PET que logra acopiar. Cada promotor cuenta con seguridad social y un salario base. Para lograr que este programa funcione, es necesario lograr ciertos mínimos de recolección. En función de dicha cantidad mínima es que se establece el tamaño de la zona que se asigna a cada promotor. Al momento de presentar el proyecto, se estaba trabajando en cuatro zonas, con potencial para crecer hasta 300 zonas en que se divide la ciudad. Cabe mencionar que cada promotor sólo puede hacerse cargo de un residuo por zona, debido al tiempo que requieren los desplazamientos y la atención a la ciudadanía. Cada zona consta de 34 manzanas y se tiene una participación del 60% de las casas de cada zona, en promedio.

El salario que se tiene registrado que han recibido los promotores es de entre $100 y $170 pesos diarios. El programa se encuentra en proceso de formalización ante la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Esto último con la finalidad de formalizar el modelo en los tres niveles de gobierno. Cabe mencionar que se da prioridad a las gestiones con el ayuntamiento, debido a que es indispensable la vinculación a nivel municipal para evitar posibles conflictos de intereses.

Las gestiones con el ayuntamiento giran alrededor de los beneficios que este puede recibir, los cuales se reconocen como: la disminución de gastos en el departamento de aseo, la ampliación de la vida útil del vertedero y el reconocimiento público en caso de que el ayuntamiento decida abanderar la propuesta.

En la siguiente sección se explicitan los puntos específicos en los que el modelo Xalapa enriquece al caso de Guadalajara, de manera que se viabiliza la posibilidad de contar con una GIRS municipal en la que podamos encontrar un sector social empoderado que se haga partícipe de prácticas más sustentables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de la comparación entre ambos casos, se han detectado divergencias cuyo análisis ha arrojado una jerarquización de patrones de funcionamiento, cuya observancia podría resultar benéfica para futuros proyectos en los que se involucre la participación de la sociedad civil como medio para fomentar las prácticas sustentables en la GIRS municipal.

3.1 Gradualidad de la recolección selectiva

La introducción gradual de la recolección selectiva con clasificación secundaria resulta más provechosa que los cambios tajantes en los sistemas de GIRS municipal. Esto significa que es mejor un programa o proyecto que comienza por promover la separación de un solo material a la vez, como ocurrió en el caso Xalapa con el PET, en lugar de promover la recolección simultánea de múltiples tipos de residuos de manera repentina. En el caso Xalapa, esta decisión de introducir la recolección selectiva con un solo material, se de-

[7] Vehículo de carga de tracción humana.

bió a la especialización con la que ya contaba la empresa privada que lo promovió, dicho en otras palabras, la idiosincrasia propia del sector privado le permitió a esta empresa enfocar su atención en el único material del que podía obtener una utilidad inmediata. Esto en oposición a la visión que se tuvo en el caso Guadalajara, en el que se intentó desde el inicio abarcar la mayor cantidad posible de residuos reciclables, provocando que fueran necesarias otras etapas de clasificación secundaria que requerían demasiado tiempo y le restaron viabilidad al proyecto. Dicho lo anterior, podemos reconocer que la factibilidad de mejorar la GIRS depende de cómo se percibe el problema, y la percepción es una construcción (Parsons, 2007, pág. 120) que se puede realizar de manera más eficiente cuando el asunto se analiza desde diferentes ópticas, en este caso, la óptica que aportó la mejor propuesta fue la de una empresa privada de reciclaje de PET.

3.2 Compatibilidad entre zonas y rutas de recolección

La lógica de recolección por zonas (manzanas), que se siguió en ambos casos, ha demostrado su utilidad, ya que los desplazamientos a pie son más eficientes cuando se trata de zonas habitacionales en las que es necesario detenerse a solucionar dudas de la ciudadanía. Esta resolución de dudas es indispensable ya que actúa como un servicio permanente de educación ambiental. Esto al contrario de un servicio de recolección municipal (concesionado o no concesionado), que persigue una lógica de recolección por ruta, en la que la educación ambiental no es una variable que incumba, ya que otros factores tienen mayor prioridad, por ejemplo los tiempos de recolección y la incertidumbre acerca de la cantidad de residuos que se habrán generado en las casas. De ahí que un camión recolector (junto con su chofer y ayudantes) no sea el mejor vehículo para realizar labores de recolección selectiva y menos de educación ambiental. Sin embargo, su lógica de recorrido por rutas sí es compatible con las recolecciones por zona que realizan los promotores de reciclaje del caso Xalapa.

Esta compatibilidad radica en que el promotor y el camión recolector[8] pueden coincidir en un punto de acopio temporal, resultando ambas partes doblemente beneficiadas. Por un lado, el camión recolector reduce su incertidumbre al conocer de antemano la cantidad de residuos que transportará[9], y el promotor puede tener confianza de que los residuos que acopie serán recogidos el mismo día, y por ende, se evita la generación de fauna nociva, cuya presencia es bien sabido que molesta a la ciudadanía al grado de dejar de participar en este tipo de programas, sin mencionar los problemas de salud pública que puede acarrear.

De esta manera se puede deducir que un aumento en el área de cobertura de la recolección, independientemente del origen que tenga,[10] puede al mismo tiempo sincronizarse con mejoras cualitativas en la GIRS. De esta manera se disminuye o por lo menos se neutraliza el aumento en la cantidad de residuos que llegan al vertedero, a pesar de que crezca la población beneficiaria del servicio.

3.3 Brigadas de sensibilización

La mejor educación ambiental que puede existir es aquella en la que la ciudadanía ve los resultados de sus esfuerzos, y no hay nada que desmotive más que ver cómo una clasificación de residuos es convertida en algo inservible cuando todo se mezcla en un camión recolector. En este sentido, la estrategia utilizada en el caso Xalapa institucionaliza las prácticas de educación ambiental y de acompañamiento que se realizaron en la prueba piloto en Guadalajara.

---

[8] En el caso Xalapa, el camión recolector pertenece a la empresa recicladora, sin embargo, también se puede dar la hipotética vinculación entre promotores de reciclaje y el servicio municipal de recolección de residuos.

[9] Un beneficio extra para el sistema de recolección es que, al tratarse de material reciclable de calidad homogénea, es posible compactarlo (en los casos que se tiene camión compactador) sin comprometer la calidad de los materiales. Así se puede lograr una eficiencia superior en costos de combustible, horas/hombre, desgaste de vehículo, etcétera).

[10] Por ejemplo, puede surgir a partir de la concesión del servicio de recolección a una empresa privada. (Bernache Pérez, 2006, pág. 497)

El acompañamiento que puede dar un promotor de reciclaje es permanente. A diferencia de las campañas mediáticas que suele emplear el gobierno, las cuales por lo general consisten en mensajes unidireccionales (televisión, radio, periódicos y/o panfletos). Los mensajes unidireccionales tienen el inconveniente de que carecen de capacidad de retroalimentación, en otras palabras, las dudas se quedan sin resolver. En cambio, el promotor de reciclaje representa a una figura al alcance del ciudadanos de a pie, quienes pueden tener una percepción distinta de los problemas de GIRS, comparado con la idea que tienen las personas que diseñan las campañas mediáticas, ya que dicha percepción está subordinada a la experiencia subjetiva propia (Parsons, 2007, pág. 131), y es precisamente dicha subjetividad la que convierte a las campañas mediáticas unidireccionales y esporádicas en algo obsoleto. En cambio, un recurso humano como el promotor de reciclaje lleva intrínseca la capacidad de diálogo para resolver permanentemente las situaciones contingentes que es seguro que surgirán.

3.4 **Construcción de canales de comunicación intersectoriales**

En la prueba piloto efectuada en Guadalajara se dio una constante comunicación entre los ciudadanos que participaron y el promotor de reciclaje, al igual que en el caso Xalapa. En este último, además existe una comunicación entre el promotor y la empresa recicladora (su empleadora), sin embargo, para comprender cabalmente el potencial explicativo del caso Xalapa, es necesario que quitemos la etiqueta de "empleado" que tiene el promotor de reciclaje, ya que su función es precisamente la que este estudio pretende asignar al sector social, pero esta será profundizado más adelante.

Todo sistema de GIRS requiere comunicación intersectorial, so pena de perder de vista detalles importantes que puede ser detectados por actores externos a nuestro sector y/u organización. Sin embargo, debido a intereses ajenos a la correcta GIRS, existen organizaciones que optan por generar escenarios en los que existe imposibilidad de comunicar (Crozier & Friedberg, 1990, pág. 205), y de esta manera se protegen, al desconocer sus áreas de oportunidad y las micro o macro contingencias que esto desencadena. Un ejemplo concreto ocurrió en el caso Guadalajara, ciudad en la cual no se encontró información pública de contacto con la administración de la empresa concesionaria CAABSA Eagle S.A de C.V. para avisar acerca de la prueba piloto que se realizó, y que provocó ineficiencias en su sistema de recolección debido a la disminución en los montos de residuos inorgánicos que los camiones recolectores se llevaron durante las 8 semanas que tuvo lugar la prueba.

De esta manera, queda explicitada la jerarquía superior que tienen los canales permanentes de comunicación, comparado con las rutas de recolección permanente. Estas últimas son importantes desde un nivel operativo, sin embargo su desempeño se puede ver minado por factores externos (variaciones en la cantidad de residuos recolectados). No obstante, dichas variaciones no necesariamente tienen que afectar negativamente a un sistema de GIRS, ya que mediante la comunicación, ya sea telefónica, verbal o vía internet, se pueden adaptar las rutas y los tiempos de recolección.

3.5 Enfoque social en la GIRS.

El sector social, a través de pepenadores y carretoneros, ha sido el que por muchos años ha mantenido a las prácticas de reciclaje a flote, rescatando materiales reciclables del flujo general de los residuos domésticos, con la finalidad de obtener un ingreso. Todo esto antes de que la GIRS llegara a la agenda nacional de las políticas públicas. Se tiene una deuda con este sector, por lo tanto, y para hacer una corrección temática, no se está hablando de la inclusión del sector social en la GIRS, sino de su justa reivindicación.

El caso Xalapa pretende introducir empleados en la red de promotores de reciclaje. El proyecto piloto en Guadalajara se realizó pensando en una lógica distinta, en la que los promotores de reciclaje funcionaran bajo una lógica cooperativa, es decir, a través de una organización autogestionada. Esta diferencia de enfoques puede generar

variaciones en el tipo de organización que se genera, debido a esto, posteriormente se justificará que la organización cooperativa tiene mayores posibilidades de éxito en el sector de la GIRS.

El enfoque social garantiza que el promotor de reciclaje comprenda la idiosincrasia de los usuarios del servicio de GIRS. Esto debido a que, al tratarse de un ciudadano vecino[11], tiene mayores posibilidades de compartir códigos de conducta y esquemas de pensamiento, además de conocer en detalle la historia de la zona en la que se desenvuelve. Estas sutilezas impactan a un sistema de GIRS que funciona a través de recolección con clasificación secundaria.

Aunado a esto, el enfoque social aporta mayores herramientas para garantizar el bienestar de los promotores de reciclaje. Además de generar empleos en un sector que por regla general prefiere automatizar procesos para disminuir costos[12], una organización autogestionada de promotores de reciclaje obtendría mayores beneficios sociales para sus miembros. En este sentido, la participación de actores sociales, a partir de una red (o red de redes) de promotores de reciclaje, institucionalizaría una actividad que tiene el potencial para provocar beneficios ecológicos, sin mayor intervención financiera permanente por parte del municipio. Debido a esto, no se trata de burocratizar una actividad que ha venido desarrollándose históricamente, sino facultarla para que su capacidad de exigencia aumente (Cohen & Franco, 2005, pág. 89), y así, pueda negociar como un igual con ayuntamientos y empresas concesionarias, las cuales, como ya se explicó, carecen de los mecanismos sociales necesarios para garantizar que los sistemas de GIRS municipales adopten esquemas tendientes a disminuir la cantidad de residuos que llegan al vertedero.

No obstante, la visión de un sector social reivindicado debe levantar más de una ceja entre las empresas concesionarias de servicios de GIRS municipales. Tampoco los recicladores deberían estar desprovistos de suspicacias, ya que los actuales sistemas de GIRS tienen elegidos a los compradores de los residuos reciclables que se alcanzan a rescatar. Así, el cambio que propone el presente estudio, requiere de la participación de los ayuntamientos, con la finalidad de legitimar (y que estos a su vez se legitimen) una actividad productiva que nuestra sociedad exige.

3.6 Legitimación del Estado

A diferencia de la prueba piloto en Guadalajara[13], el caso Xalapa si pretende buscar la legitimación por parte del municipio. Dicha legitimación/reconocimiento, va más allá de lo simbólico, implica un cambio de actitudes por parte de la administración pública hacia la ciudadanía.

Las prácticas de GIRS tradicionales, en la medida en que promueven la nula participación de la sociedad civil, se convierten en herramientas de manipulación masiva, para evitar conflictos sociales, básicamente se convierte a la GIRS en un motivo menos de interacción con la ciudadanía (un dolor de cabeza menos). Sin embargo, un ayuntamiento debe fomentar la maduración de la sociedad civil a través de ejercicios de participación (o por lo menos no cooptar deliberadamente dichos ejercicios), como el que se puede dar en la GIRS gestionada a través de organizaciones de la sociedad civil[14]. Dicho en palabras de Touraine, el populismo es negativo cuando no existe una acción autónoma de la sociedad para librarse de un yugo (Touraine, 1999, pág. 43), en este caso, el de la GIRS impuesta y sin posibilidades de incidencia por parte de los actores de la sociedad civil.

[11] Un requisito para la contratación de los promotores, fue que habitaran en la misma zona donde desempeñarían su trabajo de recolección.

[12] El asunto de la automatización/mecanización de procesos se tratará más adelante.

[13] En Guadalajara no se buscó la legitimación del Estado, a través del ayuntamiento, debido a las limitaciones que se encontraron en el pilotaje de la prueba, no obstante, una vez solucionadas esas limitantes, existe la opción de buscar el diálogo con los actores pertinentes.

[14] Esto en sintonía con el sector público y privado, no se pretende caer en posturas románticas en las que el tercer sector es infalible, porque esta postura además de estéril es falsa, como se evidenciará más adelante.

Esta postura populista que ha caracterizado históricamente a la GIRS municipal, cae en una posición antagónica frente al Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos (PNPGIRS), al cual se supone que debería apegarse cualquier Programa Municipal de GIRS (PMGIRS). Este antagonismo se materializa en el principio de participación social del citado programa, en el cual: "Demanda asegurarse que al diseñar, instrumentar, ejecutar, evaluar y vigilar los sistemas de gestión integral de residuos, los tres órdenes de Gobierno promuevan la participación corresponsable e informada de la sociedad" (SEMARNAT, 2009, pág. 44).

De lo anterior, podemos deducir que además de que el sector social legitime su participación en la GIRS, los ayuntamientos municipales tienen la obligación de institucionalizar dicha participación, de lo contrario el PNPGIRS se convertiría en letra muerta. Las ventajas para un ayuntamiento son claras: existe potencial para disminuir la partida presupuestal que se destina al rubro de la GIRS, aumenta la vida útil de los vertederos, se consigue mayor reconocimiento en la medida que el gobierno municipal promueve y garantiza el empoderamiento ciudadano. Además, el sector privado se puede ver beneficiado debido a la mayor calidad de los materiales reciclables obtenidos en mayor cantidad. No obstante, las empresas concesionarias de GIRS sí pueden ver su financiamiento comprometido y sumergido en mayor incertidumbre. Esto nos lleva a los conflictos de interés que existen en los municipios.

3.7 Conflictos de intereses

La GIRS conlleva una paradoja intrínseca: entre más eficaz y eficientemente se gestionan los residuos, menor es el incentivo para reducirlo. Esto encuentra su explicación en un problema estructural socioeconómico: el consumismo. Sin embargo, en este estudio no nos centraremos en cómo resolver dicho problema de fondo, sino en cuál modelo de GIRS tiene mayor sustento ecológico y social.

En el caso Xalapa encontramos que el reciclaje del PET es automatizado hasta cierto punto, debido a que es una empresa recicladora la que promueve la recolección selectiva. Así, la empresa garantiza márgenes de utilidad más amplios, y por ende, puede pagar el salario a los promotores de reciclaje. A diferencia de esto, en la prueba piloto en Guadalajara, no se contó con la disponibilidad de maquinaria para el reciclaje, por lo que los residuos fueron vendidos a recicladores privados. De esta manera se provocó una merma en los ingresos. Dicha merma representa otra limitante del modelo aplicado en Guadalajara. De esta manera, se puede concluir de manera prematura que un modelo social de GIRS debe buscar el crecimiento vertical en la cadena productiva de reciclaje. Esto se puede lograr mediante la obtención de maquinaria (prensa, molino, lavadora) para reciclaje, por parte de la organización o cooperativa de promotores de reciclaje. Otra opción es la negociación de precios de compra de mayoreo con los recicladores. Esta última es la que ofrece mayor cantidad de beneficios para ambas partes, ya que por un lado la sociedad civil se concentra en gestionar mejorar el acopio de materiales, y por el otro la iniciativa privada se focaliza en automatizar sus procesos de mejor manera para obtener mayores rendimientos comunes.

Hasta aquí estamos hablando de automatización de procesos de reciclaje. No se está considerando a otras etapas de la GIRS. Y esto lleva un motivo de fondo cuando se trata de empresas concesionarias, ya que la automatización de la recolección, transporte, transferencia y disposición final, desincentiva las labores de reutilización, reciclaje y reducción de los residuos sólidos. Esto debido a que la lógica que persiguen las empresas concesionarias es puramente financiera. Así, el capital constante de la inversión inicial es utilizado para automatizar los procesos de la GIRS. Por ende se requieren de grande volúmenes de residuos sin clasificar para garantizar que la automatización sea costeable. (Marx, 1999, pág. 293) Entendiendo esto a partir de la certidumbre que el Estado les garantiza a las empresas concesionarias, dicha certidumbre siendo representada por los contratos en los que se establece un precio por cada tonela-

da que se lleva a vertederos. Esa sola cláusula es capaz de inhibir cualquier práctica sustentable.

Cabe mencionar que en el caso Xalapa, no se tienen identificados actores antagónicos al proyecto, y esto porque en el momento en que se realizó el caso no existían hegemonías que controlaran el sector de los residuos sólidos en la ciudad. No obstante, la existencia de intereses antagónicos no es pretexto para detener movimientos ciudadanos que se materialicen en organizaciones de la sociedad civil, cuyo combustible de funcionamiento es el capital social. Así el capital social, y la confianza que genera de manera sinérgica, tienen más posibilidades de establecer una red de promotores de reciclaje que sea capaz de filtrarse por las estructuras rígidas de una empresa concesionaria, siempre y cuando el Estado (influenciado por intereses individuales) no coopte de manera tajante estas iniciativas ciudadanas, las cuales carecen de la lógica lucrativa que cualquier empresa concesionaria estaría dispuesta a denunciar, esgrimiendo la exigibilidad de sus derechos de exclusividad sobre los residuos sólidos de la comunidad.

3.8 Situaciones por resolver

A pesar de que carecen de una lógica lucrativa, las organizaciones de la sociedad civil también requieren de una base financiera sobre la cual funcionar. Esto no significa que la obtención de utilidades sea prioritaria, pero la falta de recursos financieros puede provocar prácticas indeseables. Debido a esto, se puede afirmar que en cualquier sistema de GIRS en el que se incluyan mecanismos de participación ciudadana, se deben garantizar medidas emergentes de financiamiento por parte del Estado. Sin embargo, a diferencia de las partidas presupuestales permanentes que se asignan a empresas concesionarias o al servicio municipal de limpia, en el caso de una organización de promotores de reciclaje no se busca un financiamiento permanente, sino la garantía de que exista un respaldo en caso de que la base financiera de la organización se vea minada por motivos ajenos a la organización. De esta manera, a través de dicha garantía, la OSC compensa la carencia de capital financiero, el cual es difícil de acumular, ya que la lógica de este sector no prioriza las utilidades sino la calidad del servicio. Así, teniendo al Estado como aval, se disminuyen las posibilidades de que cualquier organización de promotores de reciclaje vea amenazada su propia existencia, y por ende, priorice su propia subsistencia aún por encima de la calidad del servicio que brinda. (Cohen & Franco, 2005, pág. 95) Esto último, en apariencia puede parecer una desventaja del sector social (la incapacidad para capitalizarse financieramente), sin embargo, como se ha demostrado en puntos anteriores, esta necesidad de tener al Estado como aval en realidad es una comprobación de la lógica de funcionamiento de este tipo de organizaciones.

Finalmente, es necesario profundizar en el perfil de los ciudadanos que participaron tanto en el caso Xalapa como en la prueba piloto de Guadalajara. En el caso Xalapa se trata de zonas estudiantiles de clase media, de ahí que esa población sea más sensible a las cuestiones ambientales y a participar en este tipo de programas.[15] Por otro lado, en Guadalajara se realizó la prueba piloto en una zona de clase media – alta con mayoría poblacional de adultos mayores. Como se puede ver, las poblaciones en ambos casos varían principalmente en el rango de edades. No obstante, tanto en Xalapa como en Guadalajara se identificaron tendencias de aumento de la participación en este tipo de proyectos, en la medida en que se les percibe como parte del sistema municipal de recolección de residuos sólidos. Dicho lo anterior, es más factible que el grueso de la población acepte participar si se trabaja de manera coordinada con el servicio de limpia, en otras palabras, si el servicio de limpia deja de recibir los residuos reciclables, dejando a los promotores de reciclaje como la única vía de disposición para este tipo de residuos que son los más voluminosos.

CONCLUSIONES

Mejorar la calidad de la GIRS municipal requiere de enfoques innovadores y de la reivindicación de actores sociales que tienen el potencial para dis-

[15] Esta característica de la población (sesgo) fue identificada por la misma persona que promueve el proyecto.

minuir la cantidad de residuos que llegan a los vertederos. Como se pudo apreciar en los dos casos descritos en este estudio, la calidad de la clasificación de residuos es directamente proporcional al acompañamiento que el sistema de GIRS brinda a la ciudadanía. Más aún, un sistema de GIRS con el que la comunidad se identifica tiene mayor potencial de lograr prácticas más sustentables. (el Shorbagi & Samol, 2005)

La idea de tener un sistema de GIRS apegado al sector social no se trata de una aventura puramente empírica. La fundamentación teórica sociológica a estas prácticas la podemos encontrar en la teoría comunitarista (Etzioni, 2001), la cual propone que la comunidad (como representante del sector social), debe ser el contrapeso necesario para garantizar el equilibrio de poderes intersectoriales, y de esta manera, evitar prácticas que tienden más a la inequidad socioeconómica y a la degradación del entorno natural.

Como se ha demostrado en el presente estudio, la presencia del Estado es un requisito indispensable para regular el funcionamiento de los sistemas municipales de GIRS. En esta misma línea, encontramos que la tercerización de las funciones operativas es una tendencia que seguirá existiendo. En este sentido, se busca que las organizaciones de la sociedad civil también sean consideradas como actores pertinentes y necesarios para lograr una auténtica GIRS que involucre prácticas sustentables. De esta manera, ya sea en municipios que cuentan con recolección por parte del ayuntamiento o de una empresa concesionaria, encontramos que la descentralización de las funciones operativas debe tener eco en la sociedad civil, de manera que "se transfiera a instancias locales la capacidad de decisión respecto a la provisión de bienes públicos" (Cohen & Franco, 2005, pág. 77)

El nacimiento de una sociedad civil fortalecida no es un evento que pasa desapercibido. Las implicaciones en la administración pública son múltiples. Este tipo de movimiento requiere de la participación de la mayor cantidad posible de actores, el reto es lograr la participación social. (Bernache Pérez, 2006, pág. 500) No obstante, no se está proponiendo una hegemonía irracional de las sociedad civil (Osorio, 2009, pág. 220), sino un escenario en el que se explotan las mejores habilidades de cada sector, para conseguir el bien común, en detrimento de los excesos en que los individuos pueden caer cuando no existen contrapesos adecuados ni canales de comunicación intersectoriales.

Precisamente son los canales de comunicación los protagonistas del empoderamiento ciudadano. Hasta ahora, los sistemas de GIRS tradicionalmente han encontrado dificultades para mantener comunicación permanente con los usuarios del servicio, y debido a esto se ha generado una cultura de la "asimetría de la información", en la que la ciudadanía prefiere adoptar una postura pasiva al no contar con los medios para comprender cuál es la su lugar en su sistema municipal de GIRS y las implicaciones que conlleva una gestión ineficiente. De esta manera, la oportuna diseminación de la información (Cohen & Franco, 2005, pág. 91), a través de promotores de reciclaje, se convierte en una mejor estrategia para incrementar la capacidad de incidencia de la ciudadanía.

La participación de la sociedad civil en las labores operativas de la GIRS tiene ventajas muy claras, las cuales ya han sido sintetizadas por Cohen y Franco, por mencionar algunas mejorías tenemos: que se mejora el diseño de los proyectos ya que un diagnóstico participativo garantiza que la complejidad social sea mejor representada en los sistemas de GIRS, en lugar de que toda esa complejidad sea únicamente deducida desde un escritorio. Además, al tener mayor capacidad de incidencia, la ciudadanía genera mecanismos de control y transparencia más funcionales, promoviendo así la eficiencia del sistema de GIRS. Finalmente, cuando los beneficiarios de un servicio público son también operarios del mismo, los costos alcanzan un nivel menor ya que las ineficiencias se evidencian y son corregidas por los mismos que las provocan, sin necesidad de fiscalizaciones externas. (Cohen & Franco, 2005, pág. 85)

Finalmente, a partir del presente estudio se concluye que un esquema mixto intersectorial es el que presenta las mejores oportunidades para conseguir prácticas más sustentables en la GIRS municipal. No se puede pedir a la sociedad civil que haga el trabajo del Estado (Osorio, 2009, pág. 238), pero tampoco podemos aspirar a que el Estado realice las labores que por su naturaleza emergente, sólo pueden ser realizadas por actores acostumbrados y adaptados a las contingencias que surgen todos los días en el plano social. En cuanto al sector privado, ha quedado demostrado que sus principales fortalezas las encontramos en su capital financiero y sus bienes de producción, sin embargo, el potencial de este sector debe ser restringido tanto por las leyes como por la participación ciudadana. De lo contrario, los avances de la técnica terminan por ponerse al servicio de individuos con intereses distintos al bienestar común.

RECONOCIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo brindado durante este periodo de investigación.

A la Maestría en Gestión y Desarrollo Social de la Universidad de Guadalajara por la formación proporcionada.

Así mismo, al Dr. Gerardo Bernache y a la Dra. Claudia Ávila cuyos comentarios me han sido de gran utilidad para delimitar mi enfoque de estudio.

REFERENCIAS

Bernache Pérez, G. (2006). *Cuando la basura nos alcance: el impacto de la degradación ambiental.* (CIESAS, Ed.) México: Publicaciones de la Casa Chata.

Cabrero Mendoza, E. (2005). *Acción pública y desarrollo local.* México: FCE.

Cohen, E., & Franco, R. (2005). *Gestión social: cómo lograr eficiencia e impacto en las políticas sociales.* Siglo XXI.

Crozier, M., & Friedberg, E. (1990). *El actor y el sistema: las restricciones de la acción colectiva.* México: Alianza.

el Shorbagi, M., & Samol, F. (2005). *Improvement of sanitation and solid waste management in urban poor settlements.* Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).

Etzioni, A. (2001). *La tercera vía hacia una buena sociedad: propuestas desde el comunitarismo.* Trotta.

Marx, C. (1999). *El capital: crítica de la economía política.* México: Fondo de Cultura Económica.

Osorio, J. (2009). *El Estado en el centro de la mundialización: la sociedad civil y el asunto del poder.* México: Fondo de Cultura Económica.

Parsons, W. (2007). *Políticas públicas: una introducción a la teoría y práctica del análisis de políticas públicas.* México: FLACSO.

SEMARNAT. (2009). *Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos.* México, D.F.

Touraine, A. (1999). *¿Cómo salir del liberalismo?* Buenos Aires: Paidós.

Vite Carballo, J. (2009). *Presentación en 3er Encuentro de Red GIRESOL 6a Generación.* México, D.F.: GTZ.

El manejo de residuos en las Instituciones de Educación Superior: *El caso de las Universidades en Guanajuato.*

D. Elizabeth Turcott Cervantes[1], Lorena Muñoz Hilbert[1], Karina G. López Romo[1], Mario B. Reyes Marroquin[1], M. Betzabe Murillo Hernández[2], Verónica Chávez de la Peña[2].

[1]Universidad Tecnológica de León, [2]Tecnológico de Monterrey, Campus León
León, Guanajuato, México
email: dturcott@utleon.edu.mx

Resumen

Actualmente, la generación de residuos y su disposición final, continúa siendo un problema en México. Es por esto, que las Instituciones de Educación Superior (IES), como uno de los últimos eslabones en la educación han realizado iniciativas para implementar un adecuado manejo de residuos dentro de sus campus.

En este artículo se discute el avance que muestran algunas de estas IES en el estado de Guanajuato en la implementación de estas iniciativas en manejo integral de residuos, y muestra además los resultados de un estudio de cuantificación de residuos realizado en dos instituciones: una pública (Universidad Tecnológica de León) y una privada (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, campus León), obteniendo una generación *per capita* de 0.0631 y 0.0963 Kg/persona/día respectivamente, para discutir por último, las diferencias encontradas en ambas instituciones así como los propuestas que pueden implementarse en las IES, para consolidar el adecuado manejo de residuos dentro de sus campus.

Palabras Clave – Manejo de residuos, generación *per capita*, instituciones de educación superior, composición de residuos.

Abstract

Waste generation, and its final disposition, is still a problem at the moment in Mexico, this is why superior education institutions (SEI), as the last step in education are coming up with new initiatives to establish the correct way to handle wastes in their campus.

In this article we discuss the advances shown in some of this SEI, at the Guanajuato state, on the implementation of these new initiatives on waste handling, and it shows the results of a study of waste quantification, made on two different institutions: a public one (Universidad Tecnológica de León) and a private one (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, campus León) having 0.0631 and 0.0963 Kg/person/day respectively, to discuss the differences found in both institutions such as the proposals which could be implemented in the SEI, to consolidate a correct waste management in campus.

Keywords – Waste management, per capita generation, superior education institution, waste composition

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas ambientales es la generación de residuos y su disposición final. Las instituciones educativas en su papel de formar y educar pueden acelerar un cambio en los valores, junto con cambios tecnológicos, administrativos y hasta normativos para lograr un avance significativo en cuanto a manejo de residuos se refiere.

En 1985, se realizó el seminario "Universidad y Medio Ambiente en América Latina y el Caribe", en Colombia, donde se analizó el importante papel que desempeñan las Universidades y en general todas las instituciones de educación superior en los procesos de desarrollo y que es imperativo vincular la educación superior con la temática ambiental; lo que dio origen a la Carta de Bogotá sobre medio ambiente y Universidad (Bravo, 2005 y González, S.f.).

Es por esto que las Instituciones de Educación Superior (IES), se han comprometido de diversas maneras generando muchas experiencias a lo largo del país, para implementar iniciativas o programas para un adecuado manejo de residuos.

En este artículo se comentan algunas de las experiencias de las IES en el estado de Guanajuato, desde aquellas apenas han comenzado a realizar propuestas para implementar a corto o mediano plazo, hasta aquellas que tienen más tiempo en la ejecución de un programa formal para el manejo integral de sus residuos. Además se presentará la comparación de generación y composición de residuos de dos Universidades, así como la discusión de las acciones exitosas que pueden seguirse para implementar un manejo adecuado de residuos dentro de las IES.

II. ANTECEDENTES

La oferta educativa en Guanajuato es muy diversa, desde el Instituto Politécnico Nacional (IPN) - primera unidad de la institución fuera de la capital del país[1] - hasta diversas Universidades privadas y públicas destinadas a cubrir la demanda de formación de profesionistas para resolver problemas de la región.

En el caso concreto del manejo de residuos, muchas de estas Universidades ofertan carreras relacionadas con medio ambiente (desde Ingeniería Ambiental, hasta diversas ramas de agricultura sustentable, y algunos posgrados), sin embargo no todas las Universidades tienen un Sistema de Manejo Ambiental (SMA) y por ende, generalmente no cuentan con programas institucionales para el adecuado manejo de sus residuos.

De acuerdo con la Declaración de Talloires para un futuro Sostenible las IES deben: *"Ser un ejemplo de responsabilidad ambiental estableciendo programas de conservación de los recursos, reciclaje y reducción de desechos dentro de la universidad"* y *"Proporcionar el liderazgo y el apoyo para movilizar los recursos internos y externos, de modo que sus instituciones respondan al urgente desafío que presenta la crisis ambiental"* (DLUFS, S.f. y ULSF, 2010)

Tenemos en primera instancia aquí en Guanajuato a la Universidad Iberoamericana León, que cuenta con un SMA llamado "Recuperación y conservación del medio ambiente" (Hurtado, 2009), donde se ha implementado como una de las líneas el adecuado manejo de residuos dentro de la institución, a través de un plan de manejo de residuos (Aguirre, 2008) donde se realizó una cuantificación de residuos, pero los datos no han sido actualizados hasta la fecha.

El Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI), cuenta con un SMA enfocado a calidad y ambiental, logrando y manteniendo la acreditación en ISO 14 001:2004 desde hace varios años (ITESI, 2010). Cuentan con una infraestructura para separación primaria de residuos y se lleva de cerca el seguimiento de sus indicadores (residuos generados, residuos enviados a reciclaje, etc.). Es una de las instituciones que ha trabajado cerca de 5 años en establecer todo su SMA, incluido el manejo adecuado de sus residuos (Rangel, 2010)

En el caso del sistema del Tecnológico de Monterrey (ITESM), el campus del Estado de México, ha realizado diversas acciones en manejo de residuos (Cabral, 2001), al igual que el campus de San Luis Potosí (Bravo, S.f.); sin embargo, en el caso del campus León en Guanajuato, ha comenzado desde el 2009 con la iniciativa de implementar un plan de manejo integral de residuos sólidos tomando en cuenta los residuos susceptibles a ser valorizados como: papel, cartón, PET y orgánicos, y para lograr a cabo este objetivo el Tecnológico involucrará a toda la comunidad del Campus tanto administrativos, alumnos, intendencia y profesores para que todos tomen parte en su compromiso con el ambiente.

Existe el Consorcio Mexicano de Programas Ambientales Universitarios para el Desarrollo Sustentable (COMPLEXUS) al que pertenecen 15 Universidades del país, y sólo 2 de ellas son de Guanajuato: la Universidad Tecnológica de León (UTL) y la Universidad de Guanajuato (UG).

[1] Prensa de Gobierno del Estado de Guanajuato. (2009). *"Inaugura el gobernador Juan Manuel Oliva Ramírez junto con el secretario de Educación Alonso Lujambio, el Instituto Politécnico Nacional campus Guanajuato"*. Página de Gobierno del estado de Guanajuato, en: http://www.guanajuato.gob.mx/gto/detalle_noticia.php/12661_Instituto_Polit%C3%83%C2%A9cnico_Nacional_campus_Guanajuato, consultado el: 30/Abril/2010.

La Universidad Tecnológica de León tiene un Sistema de Gestión Ambiental (SGA-UTL) y derivado de este, su Programa de Manejo de residuos establecido formalmente desde el 2007, teniendo entre sus principales logros, la implementación de un sistema de separación primario, concientización permanente a todas las personas que están dentro de la institución, así como la implementación y seguimiento permanente de su plan de manejo.

La Universidad de Guanajuato, cuenta con su Programa Institucional de Medio Ambiente (PIMAUG), donde se incluye su SMA, y uno de sus subprogramas es para el manejo integral de residuos (UG, 2010). Durante el año 2005, se canalizaron para su reciclaje o reuso: 4,260 Kg de papel y cartón, y 423 cartuchos de tinta y toners de impresoras (UG, 2005).

Probablemente existen más iniciativas sobre manejo integral de residuos dentro de las Universidades en Guanajuato, sin embargo, no se encontró durante esta revisión, la documentación o referencias hacia otras Universidades, además de las mencionadas aquí.

Aunque en el presente proyecto se planteó y aceptó la participación de todas las Universidades aquí mencionadas, por cuestiones particulares de cada institución, fue imposible en esta ocasión concretar la cuantificación de residuos y comparación de todas estas iniciativas, por lo que sólo se mencionará de aquí en adelante, los resultados obtenidos por la UTL y el ITESM campus León.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se explica la metodología realizada tanto en UTL como en el ITESM campus León:

3.1 Identificación de fuentes de generación y planeación de la cuantificación

Se identificaron las diferentes áreas y edificios que generan residuos. Después, se trazó una ruta de recolección adecuada a las características de generación de cada punto y que pudiera ser cubierta en tiempo y forma por el personal que llevó a cabo dicha actividad.

3.2 Capacitación del personal involucrado

Se capacitó a todo el personal involucrado en el muestreo: alumnos de servicio social, profesores participantes, personal de apoyo, jardinería, intendencia, entre otros, para indicarles que residuos recolectar, la periodicidad, así como la ubicación final de las bolsas, para después proceder a la cuantificación.

3.3 Cuantificación de los residuos

Se recolectaron las diversas muestras de acuerdo a las fuentes identificadas y a la ruta trazada anteriormente, identificando cada bolsa respectivamente, llevando las muestras al sitio donde se llevó a cabo la cuantificación. Se descartaron todos los residuos recolectados el primer día, con la denominada "Actividad de barrido", para asegurar que los residuos generados corresponden a un solo día. Las muestras se recolectaron de lunes a sábado. Se pesó cada muestra de forma separada, anotando el peso de cada una en una cédula de identificación. Después se siguieron los procedimientos de las siguientes normas:

- NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente- Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales- Método de cuarteo
- NMX-AA-019-1985. Protección al ambiente- Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales- Peso volumétrico *"in situ"*.
- NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente- Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales- Selección y cuantificación de subproductos.

Cabe aclarar que para la norma 022, no se tomaron todos los subproductos, ya que algunos residuos no se generan en las Universidades, por lo que se adaptó el listado contenido en la misma, y en el caso de la norma 015, sólo se realizó cuarteo en ITESM, a excepción de los residuos de jardinería y sanitarios.

3.4 Análisis de resultados

Una vez obtenidos los datos de la cuantificación se procedió a calcular los indicadores: generación total por día, generación *per capita*, composición

porcentual de subproductos, volumen generado y peso volumétrico de los residuos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cuantificación de UTL se realizó del 15 de febrero al 6 de marzo del 2010 y la de ITESM del 6 al 13 de Abril del 2010, y aunque no pudieron realizarse en la misma fecha, ambos muestreos se realizaron procurando no tener eventos extraordinarios o algún otro factor que fuera a afectar de manera significativa la generación de los residuos, de igual manera; cada muestreo corresponde al primer ciclo escolar de cada Universidad (UTL: cuatrimestre Enero-Abril, ITESM: semestre Enero-Agosto).

Primero, se presentan algunos resultados obtenidos del muestreo en la UTL, seguidos de los resultados obtenidos en la cuantificación del ITESM, para finalmente, discutir y comparar ambos resultados:

4.1 Resultados UTL

De acuerdo al muestreo realizado, en la UTL se generan en promedio 220.01 Kg/día, en la tabla 1, se muestran algunos de los indicadores obtenidos, considerando dos aspectos:

- La población de la Universidad, incluyendo estudiantes, profesores de tiempo completo, profesores de medio tiempo, administrativos, y auxiliares de laboratorio era de 3486 personas.
- La clasificación de residuos que se maneja actualmente en la Universidad se divide en 3: los residuos susceptibles de ser valorizados para venta a reciclaje, los orgánicos susceptibles de ser composteados y por último, los desechos, que no entran en ninguna de las anteriores categorías, por lo que son llevados al relleno sanitario (para más detalle de la clasificación, ver la tabla 2).

Tabla 1. Indicadores específicos de los residuos generados en la UTL.

Indicador	Valor obtenido
Generación per cápita (Kg/persona/día)	0.0631 Kg/persona/día
Total de Kg por día de desechos	96.127Kg
Total de Kg por día de orgánicos	65.321 Kg
Total de Kg por día de valorizables	58.557 Kg

En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de residuos que puede ser aprovechado dentro de la Universidad, donde el 56.31% de los residuos son aprovechables, ya sea para venta o composta-je, dejando un 43.69% semanal de desechos que se deben enviar a disposición final.

Tabla 2. Clasificación de residuos dentro de UTL.

Indicadores	Valorizables	Orgánicos*	Desechos
	PET, PEAD, Papel archivo, Cartón, Vidrio, Latas de aluminio, Materiales ferrosos, No ferrosos, Periódico	Residuos de cafetería	PVC, PBD, Unicel, Otros, Desechables (vasos, contenedores y otros de PP o PS, cucharas, cuchillos, tenedores, etc.), Papel aluminio, Tetrapack, Papel sanitario, Esponja
Kg generados	**58.557**	**65.321**	**96.127**
% de aportación	**56.31%**		**43.69%**

**No están incluidos los residuos de jardinería, ya que no se cuantifican en el centro de acopio*

Se calculó el volumen promedio de residuos generados por edificio, donde el mayor volumen lo aportó el edificio "C" (0.71m^3) por el gran número de alumnos que hay en él, seguido por la cafetería (0.48 m^3) ya que es el punto de encuentro de muchos estudiantes de la Universidad.
La mayor cantidad de residuos generados le compete a los orgánicos, ya que, dentro de la universidad se tiene el área de cafetería, que genera importantes cantidades de materia orgánica susceptible de ser composteada (aquí no se incluye el peso de los residuos de jardinería). En el caso del muestreo realizado, los residuos en segundo lugar de generación fueron los provenientes de los baños (papel sanitario, toallas femeninas, etc.) con una aportación del 15.4% del total de residuos generados, desafortunadamente en cuanto a estos residuos a pesar de ser orgánicos no es viable su compostaje por cuestiones de higiene y olores.

4.2 Resultados ITESM Campus León

El ITESM tiene actualmente una población de 1610 personas, la generación total de residuos fue de 155.18 Kg/día y la generación per cápita y otros indicadores pueden observarse en la tabla 3. Donde podemos apreciar que la mayor aportación es de *residuos en general* con un valor de 72.46 kg/día, seguido de los residuos de jardinería con 69.46 kg/día y finalmente los residuos sanitarios con 13.25 kg/día. La generación de residuos de jardinería es alta debido a las áreas verdes con las que cuenta la institución educativa.

Tabla 3. Indicadores específicos de los residuos generados en ITESM

Indicador	Valor obtenido
Generación per cápita (Kg/persona/día)	0.0963 Kg/persona/día
Total de Kg por día de sanitarios	13.25 Kg
Total de Kg por día de jardinería	69.47 Kg
Total de Kg de residuos en general	72.47 Kg

En la composición porcentual obtenida se pueden definir los subproductos susceptibles a ser valorizados tanto por sus características y su composición porcentual, por lo tanto de los residuos de interés de acuerdo a los resultados son: papel, cartón, PED, residuos alimenticios, aluminio, tetra pack, y jardinería, ya que, éste último es uno de los residuos que más se genera y puede ser aprovechado para compostaje. A continuación se presenta una tabla resumen con los parámetros más importantes en la cuantificación, los cuales nos servirán para generar la propuesta de manejo en el ITESM campus León.

Tabla 4. Indicadores de residuos obtenidos en ITESM

Tipo de residuo	Generación total (Kg/ semana)	Generación total (Kg/ día)	Peso Volumétrico (Kg/ m^3)	Vol. (m^3) por día	Vol. (m^3) semana
Sanitarios	79.5	13.2	59.8	0.22	1.32
Jardinería	416.8	69.4	129.3	0.53	3.22
Residuos en general	434.8	72.4	56.28	1.28	7.72
TOTAL	***931.1***	***155.1***	***245.3***	***2.04***	***12.27***

4.3 Comparación de resultados

En las figuras 1 y 2 se muestra la composición porcentual obtenida de cada Universidad. En estas gráficas se puede notar de entrada las notables diferencias en la composición de los residuos generados, en la UTL la mayor cantidad de residuos son los residuos alimenticios, mientras que el ITESM son los residuos de papel; en ninguna de las gráficas se incluyeron los residuos de jardinería, ya que, aunque su generación es alta, cambia de acuerdo a la temporada que se trate (primavera u otoño, etc.). En la composición del ITESM tampoco se incluyeron los residuos sanitarios, ya que, cómo se explicó en la metodología, no se hicieron por cuarteo como los residuos mostrados en la gráfica. En caso de UTL la mayoría de los residuos alimenticios provienen de la cafetería, ya que la mayoría del personal consume ahí, caso contrario a lo que sucede en ITESM, lo que explica de cierta manera la composición mostrada. En el caso del residuo generado en menor cantidad en la UTL fue la madera y en caso de ITESM los textiles.

En la tabla 5 se muestra un resumen de los indicadores obtenidos para cada universidad y se denotan varias diferencias, por ejemplo, a pesar de que el número total de personas es considerablemente mayor en UTL, la generación per capita de ITESM es mayor. En el caso del volumen y la densidad promedio obtenidos se observa mucha similitud entre ambas instituciones. La UTL genera más residuos en promedio que el ITESM.

Tabla 5. Comparativo de indicadores y datos UTL-ITESM

Indicador	*ITESM*	*UTL*
Número total de personas	1610	3486
Generación per cápita	0.0963 Kg/persona/día	0.0631 Kg/persona/día
Generación total	155.183 Kg/día	220.01 Kg/día
Residuos de jardinería	69.4 Kg/día	184 Kg/día*
Volumen total	2.04 m^3/día	2.91 m^3/día
Densidad promedio	81.79 Kg/m^3	75.65 Kg/m^3

** No se realizó cuantificación de residuos de jardinería, este dato fue obtenido del muestreo de 2009 del cuatrimestre Mayo-Agosto*

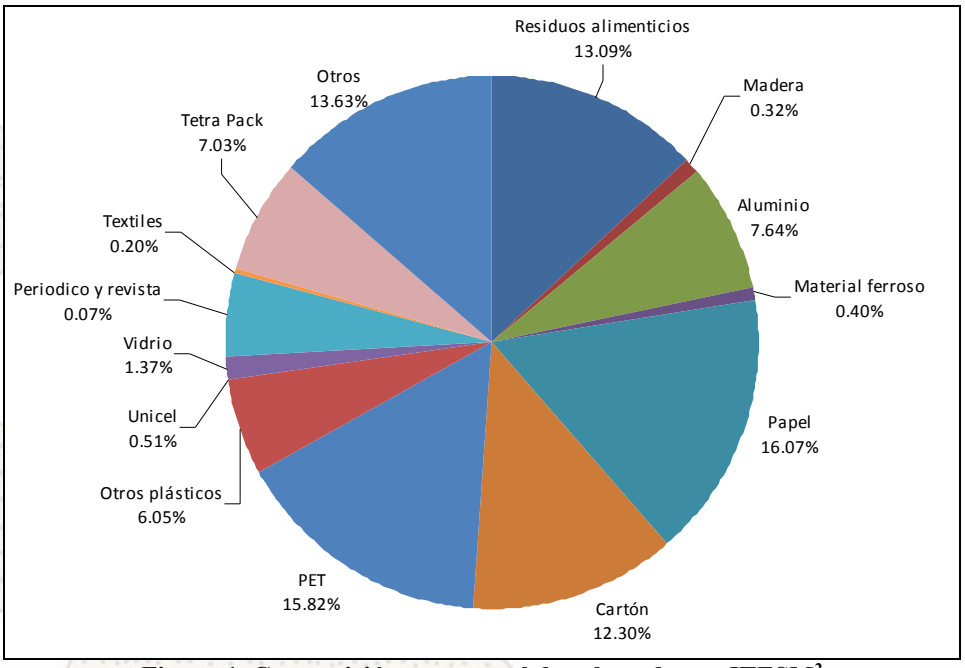


Figura 1. Composición porcentual de subproductos ITESM[2]

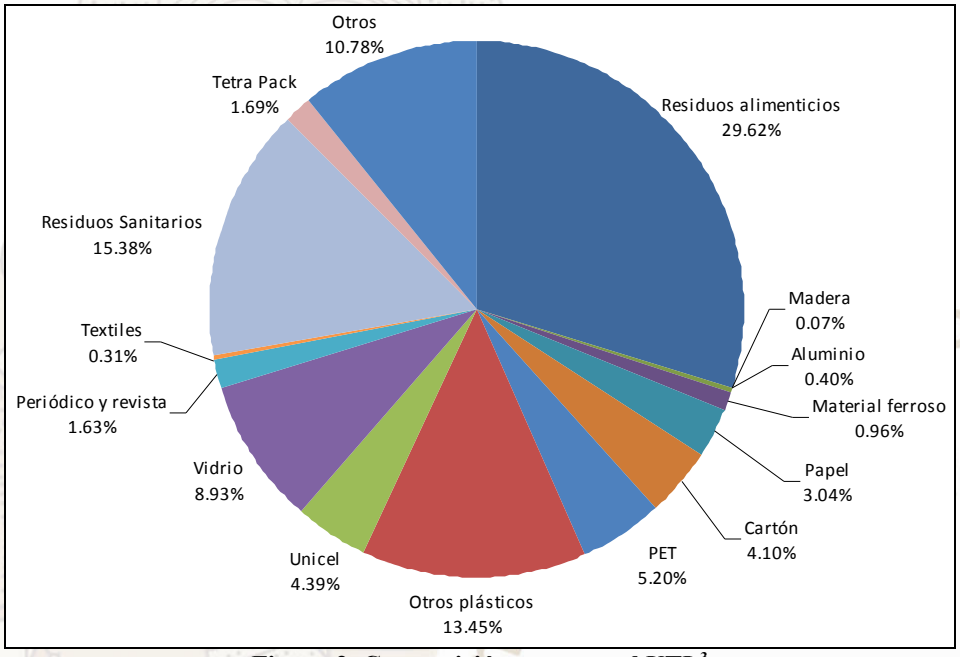


Figura 2. Composición porcentual UTL[3]

[2] No incluye los residuos de jardinería, ni sanitarios
[3] No incluye residuos de jardinería

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sería aventurado decir que las Universidades privadas tienen una mayor generación *per capita* que las públicas, ya que tendría que extenderse la duración y extensión del presente estudio (que no fue posible en esta ocasión, debido a diversos factores que impidieron la participación de las instituciones que aceptaron al inicio del proyecto), aunado a los resultados mostrados anteriormente por otras Universidades del país:

- Universidad Iberoamericana de León: 0.041 Kg / persona / día (Aguirre, 2008)
- Universidad Autónoma Metropolitana: 0.110 Kg / persona / día (Espinoza *et. al*, 2007 y 2009)
- Universidad Autónoma del Estado de Morelos: 0.067 Kg/ persona/ día aproximadamente (considerando los datos que mencionan de su generación anual de 490 Ton/año, entre 20,000 personas, y tomando en cuenta todos los días calendario, por lo que la generación puede ser menor a la mostrada aquí) (Ortiz, *et. al.*, 2007)

Sin embargo si puede concluirse que respecto a los hábitos predominantes de la comunidad universitaria, así como las condiciones mismas de la infraestructura de la Universidad, la composición de residuos puede variar de manera considerable, como se vio en las gráficas mostradas anteriormente (y en el caso de la UAE de Morelos, se reporta el PET como uno de los residuos predominantes en su composición).

La generación *per capita* de México para 2008 fue de 0.97 Kg/persona/día (SEMARNAT, 2008), y puede parecer que las Universidades no aportan demasiado a la generación de residuos si las comparamos con este indicador, pero si tomamos en cuenta sólo a las dos Universidades aquí estudiadas, en total generarán 93,752.4 Kg de residuos este año (calculado en base a 250 días hábiles de trabajo, que pueden variar), y es aquí donde volvemos al punto inicial del artículo, el compromiso que deben asumir las IES para reducir cada vez más la cantidad de estos residuos que llegarán a disposición final, que en el caso de León, se trata de un relleno sanitario que cumple la legislación vigente (situación que generalmente no se repite a lo largo del país), y de igual manera, el compromiso de poner en marcha todo el cambio de *conciencia* que se requiere para dar este *gran paso* hacia un futuro mejor, que las IES a través de sus acciones y futuros profesionistas, desempeñan uno de los más importantes roles para que este cambio, se dé en un corto o mediano plazo para el beneficio de toda la sociedad.

En el caso de las Universidades aquí estudiadas, el compromiso en el caso de UTL fue asumido desde 1999 junto con el nacimiento de su carrera de Tecnología Ambiental, así como la implementación, seguimiento y mejora de su Programa de manejo de residuos desde el 2007, como parte de su Sistema de Gestión Ambiental. El Tecnológico de Monterrey le está apostando a estas iniciativas porque busca llegar a ser una institución enmarcada dentro del decenio de la educación para el desarrollo sostenible, manteniendo así los ambientes limpios y saludables, logrando la participación de toda la comunidad, iniciando, con el estudio aquí mostrado y para realizar con los datos obtenidos un plan de manejo integral de residuos a la medida, con las necesidades y características específicas de la entidad educativa.

Algunas recomendaciones generales que se han visualizado, con este estudio y de las aportaciones de muchos colegas de diversas instituciones (sobre todo del foro de Sistemas de Manejo Ambiental, organizado por COMPLEXUS el año pasado), son:

- Cada institución es una *"ciudad"* en pequeño, así que cada una tendrá sus problemas particulares en cuanto a manejo de residuos se refiere (donde influye inclusive, la distribución de la infraestructura de la Universidad), así que el primer paso a seguir es rea-

lizar la detección y valorización de su problemática, así como la cuantificación de los residuos generados.

- Se debe designar un encargado permanente del Sistema de Manejo Ambiental (si existe) y/o del Programa de manejo de residuos para que haya un mejor seguimiento y sea efectiva su aplicación en todos los sentidos, en muchas Universidades donde se ha llevado con más tiempo la aplicación de esto, no sólo es una persona encargada, si no que es un departamento con autonomía y presupuesto dentro de la misma Universidad.
- No es indispensable que la Universidad cuente con una carrera relacionada con medio ambiente para poner en marcha un adecuado manejo de residuos, sin embargo, si se tiene una carrera así, es de gran apoyo, sobre todo por la iniciativa, propuestas y conocimientos de los estudiantes.
- La concientización y sensibilización de toda la comunidad Universitaria en manejo de residuos es un factor determinante para conseguir, no sólo el adecuado manejo de residuos dentro de las IES, si no de *permear* este tema a toda la sociedad.
- El apoyo institucional de la alta dirección, es un factor determinante para poder materializar las propuestas de manejo de residuos, en la experiencia de ambas instituciones, la UTL cuenta con el apoyo de rectoría, inclusive para buscar una certificación en ISO 14 001 a corto plazo, y en el caso de ITESM la dirección muestra un compromiso por sacar adelante este nuevo proyecto que se han planteado, y como muestra está la colaboración y compromiso con UTL para llevar a cabo el presente proyecto.

Todos los demás elementos, se pueden empezar a desprender de los puntos anteriores (necesidades y compra de infraestructura para el manejo de residuos, establecimiento de políticas institucionales, participación de la comunidad universitaria, etc.)

No hay *"recetas"* inequívocas para llevar a cabo un adecuado manejo de residuos dentro de las IES, pero conforme se siga avanzando y recolectando las diferentes experiencias a lo largo del país, podremos establecer, puntos clave para que todas las Universidades que quieren tomar su compromiso en manejo de residuos, sigan con los pasos acertados que otras IES han realizado a través de los años y no tengan necesariamente que empezar desde cero, para que la meta de lograr un cambio en la conciencia de la sociedad, sea en el menor lapso de tiempo posible.

RECONOCIMIENTOS

Un agradecimiento a todos los participantes del proyecto, alumnos de servicio social, profesores y trabajadores de ambas Universidades que aportaron al proyecto, de igual manera a la rectoría y dirección respectivamente por el apoyo y facilidades brindadas. De igual manera un agradecimiento a todas las Universidades que no pudieron participar en esta ocasión, pero que mostraron desde un inicio el entusiasmo para colaborar en la mejora del manejo de residuos: UG, Universidad Iberoamericana e ITESI.

REFERENCIAS

Aguirre, Mariana. (2008). "Plan de manejo de residuos para la Universidad Iberoamericana de León", Informe final de estadía para obtener el título de Técnico Superior Universitario en Tecnología Ambiental. Leon, Gto., México, 2008.

Bravo Mercado, Ma. Teresa. (2005). "Educación superior". Academia Nacional de Educación Ambiental, en: http://www.anea.org.mx/docs/Tere%20Bravo-4.pdf, consultado el: 10/Abril/2010.

Bravo Mercado, Ma. Teresa. (S.f.). "Las instituciones de educación superior se organizan para participar en el cambio ambiental: El Complexus.", documentos del portal Complexus, en: http://www.complexus.org.mx/ Documentos/Bravo-IES-Complexus.pdf, consultado el: 14/Abril/2010.

Cabral Velázquez, Gabriela. (2001). "Sistema de manejo ambiental, Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México". Reunión Nacional: *Desempeño Ambiental en los campus Universitarios en México. Retos, acciones y alternativas*, 23 de octubre. Universidad Iberoamericana Golfo Centro, Ciudad de Puebla, Pue. Consultado en: http://www.complexus.org.mx/DAPuebla01/pages/presentaciones/ITESM. pdf, el día: 30/Abril/2010.

DLUFS (Declaración de Líderes de Universidades para un Futuro Sotenible), (S.f.). "Declaración de Talloires", Francia, 4-7 de octubre de 1990 en: http://www.jmarcano.com/educa/docs/talloires.html, consultado el: 1/mayo/2010.

Espinosa, Rosa María; Turpin, S.; Polanco, G.; De la Torre, A.; Delfín, I. y Raygoza, M.I. (2007). "Programa de gestión integral de residuos sólidos en la UAM Azcapotzalco: Una experiencia camino al éxito", Primer encuentro de expertos en residuos sólidos, México, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California, pp. 336-347.

Espinoza, Rosa María; *et.al.*, (2009). "Proceso de implementación de un sistema internacional de administración de calidad en un programa de gestión integral de residuos sólidos en la Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco", Segundo encuentro de expertos en residuos sólidos, México, Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

González Gaudiano, Edgar. (S.f.). "La carta de Bogotá sobre Universidad y Medio Ambiente". Publicaciones de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación superior, en: http://www.anuies.mx/servicios/p_anuies/publicaciones/revsup/res071/art6.htm, consultado el: 11/Abril/2010.

Hurtado de Mendoza T., Irma. (2009). "Sistemas de manejo ambiental Universitarios ¿estamos en el camino correcto?: Universidad Iberoamericana León". Primer Foro Nacional de Sistemas de Manejo Universitarios, 5 y 6 de Noviembre. Universidad de Guanajuato, Gto.

ITESI (2010). "Logros del ITESI", en: http://www.itesi.edu.mx/Conocenos/nosotros/Reconocimientos.html, consultado el: 16/Abril/2010.

Ortiz Hernández, Ma. Laura; Sánchez Salinas, Enrique y Lara Manrique Julio. (2007). "La gestión ambiental en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México". Memorias del IV Seminario Internacional Universidad y Ambiente, Gestión Ambiental Institucional y Ordenamiento de los campus Universitarios. Bogotá D.C, 25 y 26 de Octubre.

Rangel Cuevas, Sandra Edith (2010). "Manejo de residuos en el ITESI". Encargada del Sistema de Gestión de calidad y ambiental, Dirección de Planeación y Evaluación. Entrevista personal realizada por D. Elizabeth Turcott Cervantes, Lorena Muñoz Hilbert y Mario B. Reyes Marroquín. ITESI, carretera Irapuato-Silao Km. 12.5, Irapuato, Gto.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2008). "Generación total y per cápita de residuos sólidos urbanos". Sistema nacional de medio ambiente y recursos naturales. Indicadores básicos, residuos sólidos urbanos, indicador de presión 4-2, en línea, en: http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniarn. aspx, consultado el: 1/Julio/2009.

UG (Universidad de Guanajuato) (2005). "Sistema de manejo ambiental de la UG", en: http://usic13.ugto.mx/pimaug/documentos/sistema_manejo_ambiental. pdf, consultado el: 20/Abril/2010.

UG (Universidad de Guanajuato) (2010). "Subprogramas del SMA", en: http://usic13.ugto.mx/pimaug/ subprogramas_sma.htm, consultado el: 12/Abril/2010.

ULSF (University Leaders for a Sustainable Future). (2010). "Talloires Declaration". en: www.tufts.edu/talloiresnetwork/, consultado el: 1/Mayo/2010

Presentación
Antecedentes
Extensos
Sede
Contacto

11. Planeación e implementación de operaciones.

- Calculadora de proyectos de RSU para municipios de México.

3er encuentro de expertos en
9, 10 y 11
Junio
2010
RESIDUOS
SÓLIDOS

"Calculadora de proyectos de RSU para municipios de México"

M en C. Diana Gabriela Castro Frontana
Instituto Politécnico Nacional – Escuela Nacional de Ciencias Biológicas.
Ciudad de México, D.F., México
email:dgabyfrontana@yahoo.com

Resumen
Este trabajo consiste en una calculadora que proporciona ayuda al problema de muchos municipios que desconocen las cifras de la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) en su jurisdicción. La herramienta sirve para la identificación y cálculo de parámetros que son necesarios para la estructuración preliminar de proyectos de manejo de RSU y está dirigido a todos los municipios de la República Mexicana.

Introduciendo datos básicos del municipio la "Calculadora de Proyectos de RSU" proporciona una estimación de la generación/composición de los RSU para cualquier municipio seleccionado proporcionando además información del tipo de sitio de disposición final que es recomendable para ese municipio, con base en costos, tamaño de la población, etc., e indicando además posibles fuentes de financiamiento del proyecto.

La información procesada por la calculadora procede tanto de fuentes oficiales tales como INEGI, CONEVAL, etc., así como de literatura especializada en la gestión de RSU. Los datos proporcionados por esta herramienta son puramente informativos por lo que no deben asumirse como datos únicos u oficiales para la estructuración de un proyecto de RSU, sino como orientativos; por ejemplo, para obtener estimaciones preliminares de generación de RSU por municipio, información que difícilmente está disponible pero que por otro lado, es un punto de partida básico para cualquier proyecto de RSU.

Palabras Clave – calculadora, generación, composición, RSU.

Abstract
This work consists of a calculator that helps with the problem of many municipalities whose data about solid waste generation within their jurisdiction is unknown. This tool is used for the identification and calculation of parameters that are necessary for the preliminary structuring of RSU handling projects. It is aimed at all the municipalities of the Mexican Republic.

By introducing some basic data about the municipality this "Municipal Solid Waste Project Calculator" gives an estimation of the generation/composition of municipal solid waste (MSW) for any selected municipality, giving also information about types of disposition sites that are recommended for that particular town, taking into account costs, population size, etc., and furthermore giving information about possible financing sources.

The information used by the calculator comes from official sources such as INEGI, CONEVAL, etc., as well as specialized literature. The data provided by this tool is purely informative. The results presented by the calculator are not to be taken as unique or official but as orientative data for the structuring of a MSW Project; for instance, as to obtain preliminary estimations of MSW generation by a municipality, information that on one hand is hardly available but on the other hand is vital in any MSW project.

Keywords – calculator, generation, composition, MSW.

I. ANTECEDENTES

La "Calculadora de proyectos de RSU" fue creada como una herramienta para la Unidad de Inversiones, de la Subsecretaría de Egresos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público", durante el período de agosto a octubre de 2008. Originalmente la razón de su creación fue divulgarla a los municipios para tratar de incrementar el número de proyectos de gestión de residuos sólidos presentados ante la Unidad de Inversiones, vía SEMARNAT, para su registro en la Cartera de Proyectos, lo que a su vez se traduciría en la asignación de más recursos económicos para proyectos de residuos sólidos municipales y por ende lograr el cumplimiento de las metas establecidas sobre este tema en el Plan Nacional de Desarrollo, Eje 4 Sustentabilidad Ambiental.

II. INTRODUCCIÓN

La presentación de proyectos de RSU que solicitan registro en la cartera de Programas y Proyectos de Inversión (PPI) administrada por la Unidad de Inversiones (UI) fue prácticamente nula (hasta julio de 2008) contándose apenas 3 proyectos de RSU registrados en la cartera de PPI en un período de 2 años, lo cual está muy por debajo de las expectativas de la UI y del número necesario para cumplir con las metas del PND 2007-2012. A partir de este hecho se identificaron las siguientes problemáticas:

a) La mayoría de los municipios no tienen conocimiento de que pueden obtener recursos federales para el manejo de los RSU (de jurisdicción municipal) a través de la presentación de un Análisis Costo-Beneficio (ACB) del proyecto (ya sea de tratamiento, recolección, disposición final, etc.) a la UI.

b) Existe poca difusión de los apoyos /financiamiento que otorgan otras instituciones tales como BANOBRAS, BANCOMEXT, SEDESOL, etc., para proyectos de manejo de RSU.

c) A nivel general, los encargados del manejo de residuos en los municipios desconocen cuestiones como: normatividad aplicable, tecnologías disponibles, costos de las diferentes etapas de la gestión de RSU, las cuales permitan hacer un mejor aprovechamiento de los escasos recursos económicos que los municipios asignan al manejo de los RSU, lo cual se traduce en un inadecuado manejo o en la compra de equipos cuya operación resulta ser demasiado ostentosa para el municipio con el consecuente abandono y/o desperdicio de recursos.

d) La mayoría de los municipios no cuentan con los datos necesarios para estructurar un estudio de ACB que cumpla con todos los lineamientos de la UI y por ende los pocos que llegan a presentarse son rechazados por falta de información, por estar mal estructurados o por no demostrar que son socialmente rentables.

Teniendo en cuenta lo anterior surgió la idea de crear una herramienta que pudiera ayudar a los municipios interesados en presentar proyectos ante la UI, a obtener información útil para estructurar un estudio de ACB. Información tal como: datos de generación y composición de RSU, proyección de la generación a 20 años, instituciones que podrían financiar el proyecto, tecnologías recomendadas, normatividad a cumplir, etc., todo introduciendo al programa sólo algunos datos básicos y obteniendo una "hoja de datos" con toda la información calculada por el programa.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración de la calculadora se utilizó el programa Excel (Microsoft) versión 2003. La programación se estructuró como una herramienta que permita identificar el proyecto idóneo de manejo de RSU para un municipio o grupo de municipios en el que el usuario ingrese ciertos datos y la aplicación devuelva una ficha con información relevante para la toma de decisiones, como lo muestra la Figura 1.



Figura 1. Diagrama de bloques del funcionamiento de la calculadora de RSU.

Los objetivos de este ejercicio de proporcionar una calculadora rápida para la estructuración de un proyecto de RSU fueron los siguientes:

* Orientar en la toma de decisiones acerca de proyectos de manejo de Residuos Sólidos Urbanos, específicamente haciendo recomendaciones enfocadas a proyectos de rellenos sanitarios (sitios de disposición final de RSU) e identificando las necesidades respecto al manejo de RSU en uno o varios municipios.

* Detonar la elaboración de estudios de preinversión relacionados con el manejo integral de RSU e identificar qué información sería necesario profundizar antes de la estructuración de un proyecto de manejo integral de RSU.

* Fomentar la realización de proyectos de manejo de RSU intermunicipales, de forma que se minimicen costos y se maximicen los beneficios sociales del manejo adecuado de los RSU.

* Difundir algunas de las posibles fuentes de financiamiento disponibles para proyectos de RSU.

Los datos base para los cálculos se obtuvieron de fuentes oficiales tales como INEGI, CONEVAL, etc., así como de literatura especializada en la gestión de RSU (ver sección de Referencias).

III.1. Supuestos técnicos

Para este programa se utilizaron los siguientes supuestos:

* La generación de RSU es directamente proporcional al número de habitantes de un municipio.

* Se realizó una proyección de la generación de RSU a 20 años, lapso recomendado por SEMARNAT para proyectar tanto la generación como la capacidad de gestión de un sistema de manejo de RSU.

* La composición promedio de los RSU depende de la región en la que se encuentra un municipio (Frontera Norte, Norte, Centro, Sur y DF y área metropolitana).

* Por el momento el programa funciona para datos que tengan como año inicial el 2009.

III.2. Datos de entrada

Tanto en la hoja de entrada y en la de resultados que arroja la calculadora se distinguieron tres colores de celdas con las siguientes categorías:

Celdas sombreadas en verde: para información obtenida directamente de fuentes oficiales (INEGI, CONAPO, SEMARNAT, OPS, etc.).

Celdas sombreadas en amarillo: para información calculada a partir de literatura especializada en RSU (no necesariamente obtenida para datos específicos de México).

Celdas sombreadas en anaranjado: para información supuesta, que no se tiene disponible o que no existe para el municipio.

Para hacer la calculadora lo más "amigable al usuario" posible, se decidió elaborar una plantilla en la cual el usuario ingrese los siguientes datos de entrada:

Datos de localidad:

- Año de inicio (a partir del cual se desea calcular los parámetros).
- Entidad Federativa donde se ubica el municipio.
- Municipio.
- Zona del país (sur, centro, norte, etc.).
- Clasificación de la localidad; rural o urbana (con base en este dato se obtiene información indirecta del tipo de proyecto RSU más viable para la localidad así como del financiamiento al que puede acceder).
- Número de habitantes para los que se pretende llevar a cabo el proyecto RSU (este dato permite el cálculo de la generación de RSU), etc.

Los datos se ingresan ya sea a través de un menú en el que el usuario sólo tiene que seleccionar la respuesta a partir de una lista precargada, o a través de la contestación de preguntas con respuesta como sí, no o no sé. El número de preguntas en las que el usuario tiene que saber datos concretos se limitó al mínimo posible. La Figura 2 muestra el diagrama de bloques de los datos de entrada a la calculadora de RSU:

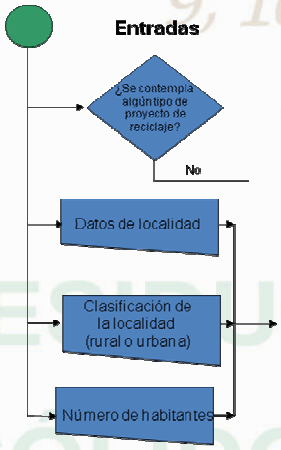


Figura 2. Datos de entrada a la "calculadora de RSU".

III.3. Procesamiento de datos

Una vez ingresados los datos, la calculadora de RSU realiza las siguientes operaciones:

Generación y composición de RSU

La proyección de la población a 20 años (a partir de la fecha en que se plantea el proyecto de RSU), necesaria para hacer la estimación de la generación se hizo haciendo uso de datos oficiales de CONAPO

- Generación de RSU:

Generación por habitante promedio (obtenido de estadísticas) X Número de habitantes (dato de entrada)

- Composición de los RSU:

Este dato se obtiene de la zona donde se ubica la localidad con base en una tabla de composición de RSU por zona geográfica.

Normatividad

- Tipos de financiamiento:

Compara los datos de entrada con los requisitos de cada tipo de financiamiento y arroja aquél que es más viable para las condiciones dadas, ejemplo:

Si Gen RSU > 70 ton/día, entonces el proyecto es candidato a financiamiento por parte del PRORESOL, etc.

- NOM-083-SEMARNAT-2003:

Basado en la generación de RSU calculada en el paso previo, aplica los principales criterios descritos en la NOM 083-SEMARNAT-2003 y determina el tipo de relleno sanitario (A, B, C, ó D) así como los estudios técnicos que le corresponden a al relleno sanitario según el tipo.

Además informa la compactación mínima que deberá darse a los RSU, entre otros datos.

Criterios de diseño:

Con base en los datos recolectados a la entrada se aplica un "filtro" que ayuda a determinar características básicas de un posible relleno sanitario, tales como:

- Tipo de relleno (manual o mecanizado)
- Método constructivo (trinchera o zanja),
- Etc.

III.3. Datos de salida

Una vez procesada la información el programa despliega una "hoja de datos del proyecto" imprimible, con información como la que se muestra en la Figura 3:

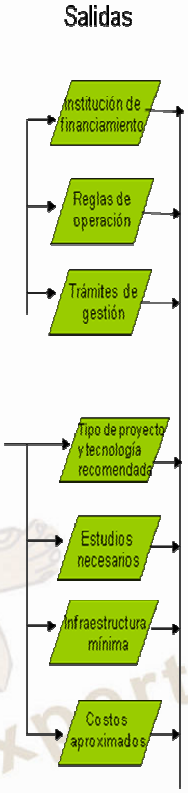


Figura 3. Datos de salida de la "calculadora de RSU". (Nota: en esta primera versión no se incluyeron los datos de costos aproximados, ya que se tenía muy poca información al respecto).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La "calculadora de proyectos de RSU" es accesible a través de un archivo de Excel y puede procesar datos de cualquier municipio de la República Mexicana que hayan sido incluidos en la base de datos de municipios de CONEVAL (fuente de información primaria usada por la calculadora y a partir de la cual se obtienen otros datos complementarios). El diagrama final de funcionamiento de la calculadora se presenta en la Figura 4.

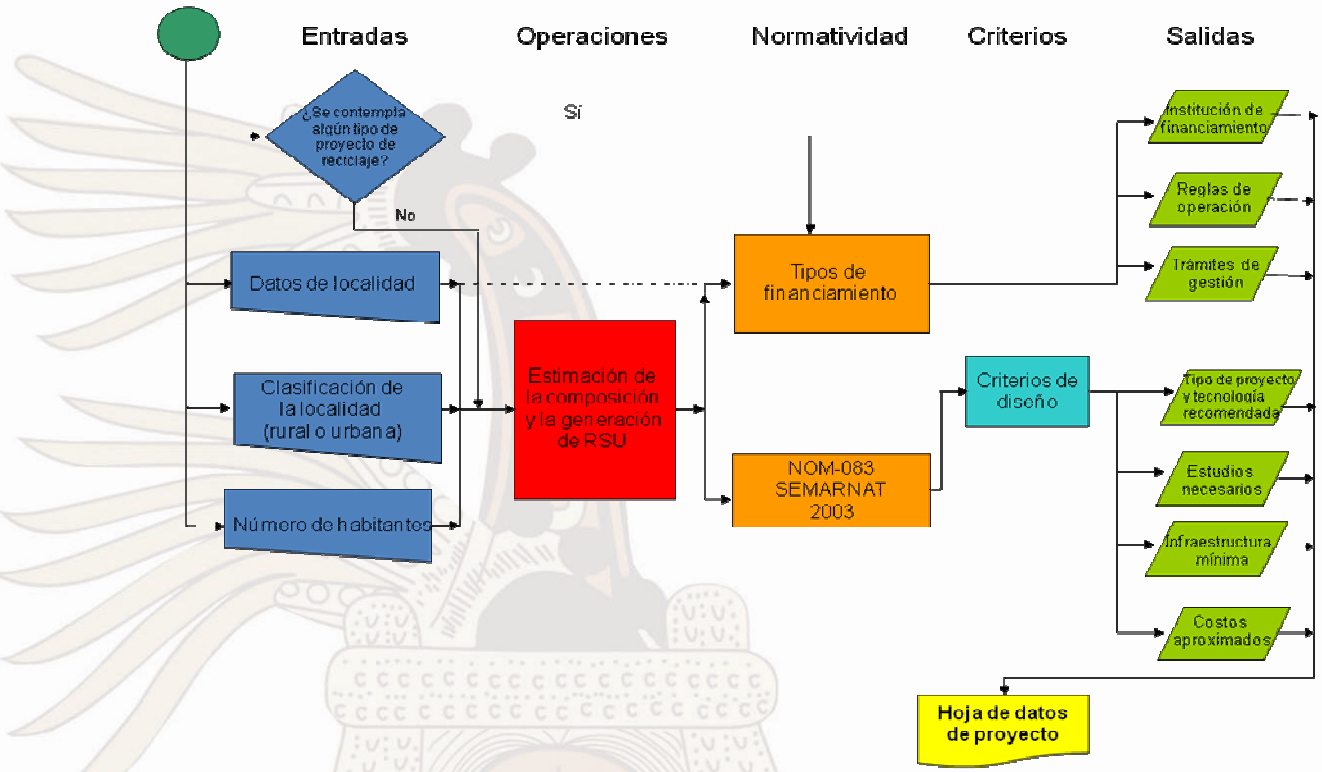


Figura 4. Diagrama de flujo de la "Calculadora de proyectos de RSU".

A continuación se presenta un ejemplo de los datos para el municipio de Metlatónoc, Guerrero. Los datos de entrada fueron los siguientes:

Año: 2009

Entidad Federativa: Guerrero (lista precargada)

Municipio: Metlatónoc (lista precargada)

En la Figura 5 se muestra la pantalla de captura de datos:



Figura 5. Pantalla de entrada de datos de la calculadora de proyectos de RSU.

La información calculada para dicho municipio se despliega en cuatro pantallas como se muestra en la Figura 6.

Algunos de los datos obtenidos por la calculadora para un posible proyecto de RSU en el municipio de Metlatónoc se enlistan a continuación:

- El municipio es elegible para un apoyo de hasta el 50% a fondo perdido para infraestructura para el manejo adecuado de RSU como parte del programa SEDESOL-Habitat así como del programa SEDESOL-Intermunicipal.
- El trámite a seguir es presentar la solicitud a la delegación de SEDESOL de su entidad que incluya: nombre del proyecto, monto estimado para estudios y obras.
- La población de acuerdo a CONAPO para dicho municipio en el año 2009 es de 17864 habitantes. La población proyectada a 20 años (2028) es de: 17599 (decreciente debida quizás a la migración por falta de oportunidades).
- El grado de rezago social del municipio está clasificado como "muy alto".

- La generación estimada de RSU a disponer es de 17.86 ton/d.
- La recolección estimada diaria es de 15.18 ton/d (recolectando el 75% de lo generado.
- De acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003 para la disposición final de los residuos se recomienda un relleno Tipo C.
- De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud, se recomienda un relleno sanitario semimecanizado.
- Etc.



Sección 2: Posibles fuentes de financiamiento

Municipio elegible para apoyo del Programa Microrregiones. Existen apoyos financieros disponibles para proyectos de RSU en ese municipio. Más detalles en la sección de Apoyos.

Posible fuente de financiamiento	Apoyos
FNI-Banobras	:::::::::::::::::::::::::
Sedesol-Habitat	Apoyo hasta 50% a fondo perdido para infraestructura para el manejo adecuado de RSU.
Sedesol-Intermunicipal	Apoyo de hasta el 50% a fondo perdido para infraestructura para el manejo adecuado de RSU.
Sedesol-Microrregiones	:::::::::::::::::::
Cocef-Bandan (SWEP)	:::::::::::::::::::::::::
Bancomext-Fomecar	:::::::::::::::::::::::::
Secretaría de Economía-NAFIN	:::::::::::::::::::::::::
Trámites a seguir	
FNI-Banobras	:::::::::::::::::::::::::
Sedesol-Habitat	Solicitud a la delegación de SEDESOL de su entidad que incluya: nombre del proyecto, y su monto estimado de estudios y obras.
Sedesol-Intermunicipal	Solicitud a la delegación de SEDESOL de su entidad que incluya: nombre del proyecto, y su monto estimado de estudios y obras.
Sedesol-Microrregiones	:::::::::::::::::::
Cocef-Bandan (SWEP)	:::::::::::::::::::::::::
Bancomext-Fomecar	:::::::::::::::::::::::::
Secretaría de Economía (SE)-NAFIN	:::::::::::::::::::::::::

Adicionalmente para proyectos de reciclaje de residuos NAFIN ofrece créditos PyME de hasta el 100% a tasas preferencial

Sección 3: Cálculo de parámetros

De acuerdo a la información proporcionada en la Sección 1, para el municipio Metlatónoc Guerrero

el número de habitantes en el año ## de acuerdo a la proyección de población de CONAPO es de: 17,864 habitantes

Según datos del Consejo Nacional de Política para la Evaluación de la Población el grado de rezago social del munic Muy alto al cual le corresponde un valor de: 1 . La proyección de la población en los siguientes 20 años para el municipio, se muestra a continuación:

	Población proyectada	Año
1	17,864	2009
2	17,913	2010
3	17,953	2011
4	17,985	2012
5	18,010	2013
6	18,027	2014
7	18,039	2015
8	18,044	2016
9	18,043	2017
10	18,035	2018
11	18,022	2019
12	18,003	2020
13	17,978	2021
14	17,945	2022
15	17,906	2023
16	17,861	2024
17	17,807	2025
18	17,745	2026
19	17,677	2027
20	17,593	2028

La composición aproximada de los RSU con base en la generación y en la zona es la siguiente:

Subproducto	Frontera Norte (ton/d)	Norte (ton/d)	Centro (ton/d)	Sur (ton/d)	DF y ZM (ton/d)
Cartón	:::::::	:::::::	:::::::	0.87	:::::::
Residuos finos	:::::::	:::::::	:::::::	1.44	:::::::
Hueso	:::::::	:::::::	:::::::	0.04	:::::::
Hule	:::::::	:::::::	:::::::	0.06	:::::::
Lata	:::::::	:::::::	:::::::	0.53	:::::::
Material ferroso	:::::::	:::::::	:::::::	0.07	:::::::
Material no ferroso	:::::::	:::::::	:::::::	0.30	:::::::
Papel	:::::::	:::::::	:::::::	1.58	:::::::
Pañal desechable	:::::::	:::::::	:::::::	1.02	:::::::
Plástico (películа)	:::::::	:::::::	:::::::	0.31	:::::::
Plástico (rígido)	:::::::	:::::::	:::::::	0.22	:::::::
Residuos alimenticios	:::::::	:::::::	:::::::	2.92	:::::::
Residuos de jardinería	:::::::	:::::::	:::::::	4.82	:::::::
Trapo	:::::::	:::::::	:::::::	0.39	:::::::
Vidrio de color	:::::::	:::::::	:::::::	0.11	:::::::
Vidrio transparente	:::::::	:::::::	:::::::	0.66	:::::::
Otros	:::::::	:::::::	:::::::	2.52	:::::::
Total	0.00	0.00	0.00	17.86	0.00

Nota: para determinar todo la generación como la composición exacta fisica para el municipio se recomienda realizar los estudios de acuerdo a las normas NMX-AA-61-1985 y NMX-AA-022-1985, respectivamente.

Figura 6. Pantallas de visualización de resultados.

La calculadora proporciona información valiosa para la estructuración preliminar de un estudio de ACB de un proyecto de RSU, con información muy elemental acerca del municipio, por lo que no es necesario ser especialista en residuos para hacer uso de ella. Sin embargo, se recomienda que la estructuración del posible proyecto sí se haga con ayuda de especialistas en el tema.

Además del propósito original de su creación esta calculadora podría ser útil en trabajos de consultoría como una herramienta informativa de datos técnicos y de normatividad básicos que debe cumplir un proyecto de manejo de RSU.

Existen aún muchas áreas de mejora para esta calculadora, como por ejemplo hacer la programación en una interfase más amigable (Visual Basic, Flash, etc.), o actualizar algunos datos de la base de cálculo que sean específicos para México ya que no en todos los casos se encontró información específica del país. Sin embargo, la autora piensa que ésta es una herramienta muy útil para municipios que tienen información casi nula sobre aspectos técnicos del manejo de RSU, que por otro lado, son básicos para poder estructurar cualquier proyecto de infraestructura para el manejo, recolección, transporte o disposición final.

La autora del presente trabajo está abierta a recibir retroalimentación y a hacer de esta una herramienta más completa que esté disponible para todos los municipios que así lo requieran y que contribuya incrementar el número de proyectos que infraestructura para el manejo adecuado de los RSU, que tanta falta hacen en México.

V. CONCLUSIONES

Esta primera versión de la calculadora de proyectos de RSU proporciona orientación al problema de muchos municipios de desconocimiento de cifras de generación de RSU en su jurisdicción. Es útil para la identificación y cálculo de parámetros necesarios para la estructuración preliminar de proyectos de manejo de RSU y está dirigido a todos los municipios de la República Mexicana. Los datos proporcionados son puramente informativos por lo que no deben asumirse como datos únicos u oficiales sino como orientativos para la estructuración de un proyecto de RSU; por ejemplo, para obtener estimaciones preliminares de generación municipio, información difícilmente disponible pero que representa un punto de partida básico para cualquier proyecto de RSU.

REFERENCIAS

BANOBRAS. Programa de Residuos Sólidos Municipales. (Sin información sobre el año de publicación).

Colomer M, Francisco J. Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos. Limusa. 2007.

Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental-GTZ. Desempeño de Gobiernos Locales y Participación Privada en el Manejo de Residuos Sólidos. México. 2003.

CONAPO. Proyecciones de la población de México 2005-2030 de la Comisión Nacional para la Población.

CONEVAL-Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Base de datos de rezago social a nivel municipal. 2005.

ITAM-CEPEP. Apuntes de evaluación económica y financiera de proyectos. 2008.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR).

Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.

OPS-Organización Panamericana de la Salud. Curso de autoaprendizaje: Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales. URL: http://bvsde.per.paho.org/curso_rsm/e/index.html.

OPS-Organización Panamericana de la Salud. Evaluación Regional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos Municipales. Informe Analítico de México. 2002.

Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012.

SEDESOL. Manual de reducción y reuso de residuos sólidos urbanos. (Sin información sobre el año de publicación).

SEDESOL. Manual para el manejo de basura en localidades de menos de 100 habitantes, albergues y campamentos. (Sin información sobre el año de publicación).

SEMARNAT. Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2008-2012. 2008 (versión para consulta por internet).

SHCP. Unidad de Inversiones. Lineamientos para la elaboración y presentación de análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión. D.O.F. 10 de marzo de 2008.

SHCP. Unidad de Inversiones. Lineamientos para el registro en cartera de programas y proyectos de inversión. D.O.F. 10 de marzo de 2008.

Tchobanoglous G. Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGraw Hill. 1994.

Presentación
Antecedentes
Extensos
Sede
Contacto

12. Otros.

- Participación del sector informal en la gestión de los residuos sólidos municipales en San Luis Potosí. El caso de los pepenadores del tiradero municipal de peñasco.
- El manejo local de los residuos sólidos orgánicos con participación comunitaria, una propuesta probada.
- La percepción de los funcionarios públicos sobre la problemática de los residuos.

3er encuentro de expertos en RESIDUOS SÓLIDOS 9, 10 y 11 Junio 2010

Participación del sector informal en la gestión de los residuos sólidos municipales. El caso de los pepenadores del tiradero municipal de Peñasco, San Luis Potosí.

Carmen Himilce Macias Manzanares
El Colegio de San Luis.
San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
email:himilce_mm@yahoo.com.mx

Resumen

El trabajo examina la complejidad de la gestión de los residuos sólidos urbanos, a través del análisis de caso de la participación de la iniciativa privada en el confinamiento de los desechos en la ciudad de San Luis Potosí. Mediante este trabajo se examina la influencia que ejercen los diversos actores involucrados en el manejo de los residuos sólidos, particularmente la intervención de los pepenadores que laboran en el tiradero municipal de Peñasco, sobre el sistema de gestión de residuos sólidos.

Palabras Clave – Gestión de residuos sólidos, pepenadores, iniciativa privada, tiradero municipal.

Abstract

The paper examines the complexity of the management of municipal solid waste, through case analysis of the participation of private initiative in the containment of waste in the city of San Luis Potosi. Through this work examines the influence of the various actors involved in solid waste management, particularly the involvement of the scavengers who work in the municipal dump of Peñasco, over the management system of solid waste.

Keywords – Solid waste management, scavengers, private, municipal dump.

I. INTRODUCCIÓN

San Luis Potosí capital es una ciudad de porte medio localizada en el centro de México. Junto con el municipio conurbado de Soledad de Graciano Sánchez ocupa el décimo lugar en la lista de las principales áreas metropolitana de la Republica Mexicana, siendo un área en pujante expansión.

A partir de los años 70 dicha área ha experimentado un importante crecimiento económico gracias a la diversificación industrial, además de un significativo crecimiento de la población y de la mancha urbana. La combinación de estos elementos ha contribuido a un incremento en la generación de residuos sólidos, ocasionando que el gobierno municipal sea incapaz de satisfacer los servicios básicos de aseo público y recolección.

Para el 2007, la entonces Dirección de Ecología y Aseo Municipal declaraba que en San Luis Potosí capital se producía un promedio de 700 gramos a un kilo de residuos sólidos por habitante[1]. En ese mismo año se recogió un total de 157 677 toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) a través de 146 a 148 rutas de recolección efectuadas por apenas 35 a 38 camiones municipales, toda la infraestructura con que el ayuntamiento de la capital contaba para realizar dicha tarea. Hasta mediados de 2008 el servicio de recolección y trasporte trabajaba en tres turnos: matutino, vespertino y nocturno. A pesar de ello el abasto no era suficiente, por lo que era habitual el descontento de la gente ante la precariedad del servicio.

En cuanto al confinamiento, el tiradero municipal de Peñasco recibe diariamente un promedio de mil toneladas diarias. Hay que agregar que no existen otras formas de tratamiento[2], además, debido a que se debe contar con un permiso especial para depositar desechos en Peñasco, mucha de la basura sigue siendo arrojada en tiraderos clandestinos alrededor de la periferia de la ciudad.

[1] Debido a la falta de estudios especializados que revelen datos precisos las cifras suelen fluctuar con diferencias significativas.

[2] No existe otra forma significativa ni formal de tratamiento de basura.

Frente a este panorama, y para intentar cubrir los elementos básicos del sistema de aseo, el ayuntamiento de San Luis Potosí permitió, e incluso alentó, la participación del sector informal en la recolección (carretoneros), pero también en otra parte del manejo de desechos: la separación de éstos (pepenadores). A partir de finales de los '80, con el reconocimiento que el ayuntamiento le concedió a organizaciones dedicadas a la recolección voluntaria, el sector informal ha sido un actor activo, participante e influyente en la gestión de los desechos en San Luis Potosí.

El presente trabajo es el resultado del proyecto de investigación realizado a lo largo del programa de maestría en Antropología Social por El Colegio de San Luis. El interés en abordar este tema nace de la preocupación por conocer las formas de gestión de lo residuos sólidos en la capital del Estado, particularmente el papel que juega el sector informal, al ser un actor constantemente presente en los procesos, e incluso en la toma de decisiones, que atañen a esta cuestión.

Los datos fueron recabados a partir del trabajo de campo (2007-2008) hecho en el tiradero de Peñasco y una de las comunidades de origen de los pepenadores que trabajan en el vertedero. También se recabó información periodística, se aplicó una serie de entrevistas a los pepenadores, así como a otros actores que convergen en Peñasco (tanto del sector privado y público). A partir de la información obtenida se expondrá el caso de los pepenadores del tiradero municipal de Peñasco, y se analizará su participación en el sistema de gestión de los residuos sólidos municipales.

II. PEPENADORES EN EL TIRADERO MUNICIPAL DE PEÑASCO.

Desde hace más de 20 años, en los tiraderos localizados en la periferia de la ciudad, se inició el rescate de material reciclable por personas procedentes principalmente de áreas rurales, los llamados pepenadores. Su presencia en los vertederos no tuvo la menor objeción ni control por parte de las autoridades encargadas de los tiraderos, ya que no contaban con la suficiente capacidad de control, además de que desde un principio se les cooptó como una clientela fiel para apoyar ciertas causas políticas[3].

Los antiguos tiraderos municipales eran predios ubicados en la periferia de la ciudad, especialmente en la parte norte de San Luis Potosí, colindante con el municipio de Soledad de Graciano Sánchez. Eran de gran tamaño y con ningún tipo de planeación o control, ya que en muchos casos eran hoyos resultantes de la extracción de material. Su vida útil era de unos cuantos años, hasta que el hoyo se llenaba y se tenía que recurrir a otro predio.

El tiradero de Peñasco fue abierto bajo las mismas condiciones. No existen datos precisos sobre las condiciones de su apertura. Se afirma que comenzó a funcionar en enero de 1995. Se registra que en promedio el terreno medía de cuatro a seis hectáreas, y que el hoyo donde enterraban la basura tenía una profundidad de entre 15 a 20 metros (Loredo, 2008). Para aquellos años, Peñasco era el tiradero de más grandes dimensiones que había existido. Se reconocía que era una obra que operaba sin el menor control o planeación, pero se proyectaba tan sólo como una medida provisional para subsanar la falta de un sitio de disposición final para los desechos generados en la capital.

A este lugar comenzaron a llegar personas de por lo menos una decena de comunidades y colonias vecinas al tiradero. En su mayoría gente proveniente de áreas rurales, para los cuales el trabajo en el campo no resultaba más una actividad productiva. Gradualmente familias enteras llegaron a trabajar al vertedero, trayendo consigo a otros familiares, invitando a sus amigos e incluso a sus vecinos. Personas que poco a poco se fueron introduciendo a la labor de la pepena descubrieron que era una práctica mucho más redituable que sus antiguos oficios (campesinos o artesanos).

Para el 2008 la Dirección de Ecología y Aseo Público municipal tenía registrados poco más de 600 pepenadores que ingresaban al tiradero.

[3] Principalmente el apoyo a candidatos del PRI a la presidencia municipal o a la gubernatura. Como lo menciona López (2007) en el caso de las Uniones de Recolectores Voluntarios quienes obtenían mayores beneficios (económicos, materiales, etc.) durante los gobiernos priístas.

También hay que considerar que del trabajo de éstos dependen sus familias, por lo que se calcula que alrededor de mil personas dependen directamente de la pepena en el tiradero de Peñasco.



Foto 1. Tiradero de Peñasco (Juan José Gaméz, 2004)

Cabe recalcar que a pesar de la estigmatización que las sociedades modernas confieren a la pepena, para los pepenadores el trabajo resulta altamente valorado debido a varias cuestiones. Es un nicho ideal de trabajo para personas que no cuentan con estudios o capacitación necesaria para desempeñar un trabajo formal, incluso para personas muy jóvenes o ancianos que no tienen cabida en el mercado laboral.

Por ser un tiradero municipal llega una gran diversidad de materiales (plásticos, metales, papel, cartón, vidrio, entre los principales), durante todo el día y en grandes cantidades, en su mayoría susceptibles de ser separados y vendidos[4]. Contrario a lo que se puede pensar comúnmente, la separación de materiales reciclables puede resultar en un negocio altamente redituable, como sucede en Peñasco. El tiradero no sólo es fuente de materiales para vender, al mismo tiempo los provee de objetos con los cuales construir o acondicionar sus hogares, incluso es fuente de vestido y alimento (aquel que se encuentra aún en buenas condiciones).

Los pepenadores no cuentan con jefes a quienes rendirles cuentas, ni siquiera las autoridades locales controlan la forma de separación. Expresan como una ventaja el no tener patrones, convirtiendo a la pepena en una alternativa ante el control, la explotación y los abusos del trabajo asalariado convencional. La pepena en Peñasco es un trabajo libre, sin ataduras de horarios o cumplimiento de cuotas en la selección del material, una forma flexible de autoempleo.

Otra ventaja es que propicia una forma de trabajo familiar, ya que la organización y coordinación de la labor giran en torno a la unidad familiar, propiciando a su vez la cohesión de ésta. Además de que hay otro tipo de beneficios producto del pacto y transacciones políticas emprendidas por los pepenadores a través de su organización.

El ingreso al tiradero de Peñasco es un tanto restringido, y a pesar de que las autoridades municipales no intervienen en el control esta actividad, si existe una organización que mantiene cierto control dentro del tiradero para el ingreso y otras cuestiones: el Sindicato Único de Pepenadores.

Con el paso de los años los pepenadores que laboran en Peñasco se concentraron en un grupo bien organizando, la intención era movilizarse para gestionar diversos apoyos a través del ayuntamiento de San Luis Potosí, incluso el gobierno del Estado. El Sindicato Único de Pepenadores, aunque formalmente no está constituido como un sindicato, opera como tal al luchar por mejores condiciones laborales para sus agremiados.

A lo largo de su existencia, organizados y dirigidos por líderes fuertes, carismáticos y con gran habilidad para la negociación en el campo político, han emprendido movilizaciones con el objetivo primordial de asegurar su trabajo dentro del tiradero. Las acciones públicas que los pepenadores ponen en marcha, a través del Sindicato, básicamente consisten en: el cierre del tiradero como una medida de presión (hay que tomar en cuenta que es el único tiradero en el municipio); marchas y protestas en recintos públicos como la Unidad Administrativa Municipal, el Palacio Municipal o el Congreso del Estado, en los casos donde las problemáticas que enfrentan llegan a un punto

[4] En Peñasco pocos son los pepenadores especializados en la separación de un solo objeto, en general las personas recopilan toda clase de materiales (los metales son los mejor pagados), que en conjunto proporcionan un ingreso seguro e incluso altamente redituable, cuando el trabajo es constante (ganando como mínimo 200 pesos al día con la posibilidad de percibir hasta 2 mil pesos a la semana).

máximo de tensión. Este tipo de expresiones pueden ser estrepitosas e incluso pueden llegar al uso de la fuerza para hacerse notar, lo que ha provocado que los pepenadores sean vistos como gente "difícil" y muchas veces violenta. Igualmente, en una esfera más privada, se dan "mesas de trabajo" entre los líderes y las autoridades municipales, para dar solución a cuestiones más sencillas.

El Sindicato mantiene una organización más bien vertical. Existe un único líder, elegido por los pepenadores por poseer habilidades destacadas para la negociación de apoyos (en ambas direcciones), conjuntar y coordinar fuerzas, y por tener los conocimientos necesarios para interactuar y gestionar con autoridades o actores importantes, en la jerarquía de autoridad sobre el tiradero. Conjuntamente lo auxilia una "junta", un grupo de "coordinadores", alrededor de cinco personas (en su mayoría amigos cercanos o familiares del líder), quienes lo ayudan a organizar y movilizar a la gente. Este círculo suele concentrar la información clave sobre el tiradero, así como diseñar las estrategias de acción de la organización. Mientras que el resto de los pepenados brindan, hasta la fecha, su apoyo casi incondicional[5] a las decisiones que el líder propone.

Por medio de la organización, los pepenadores han confrontado directamente iniciativas emprendidas por el ayuntamiento para modificar el tiradero, medidas que ponen en riesgo los intereses que mantienen los pepenadores sobre el lugar. Una situación común a la que el Sindicato ha tenido que afrontar a lo largo de los años, son las propuestas de privatización del servicio de aseo público y recolección. Ésta generan un ambiente de incertidumbre y molestia para los pepenadores. Ellos intuyen que en la introducción de un agente extraño como la iniciativa privada, existe el riesgo de perder el control de su fuente de trabajo, las condiciones favorables bajo las que han trabajado a lo largo de los años. Es por ello que la demanda primordial que se intenta cumplir mediante la organización, es la conservación de la fuente de trabajo en el tiradero.

III. PEPENADORES FRENTE A LA REMEDIACIÓN DEL TIRADERO DE PEÑASCO.

En los últimos años se han dado una serie de cambios que han modificado el sistema de manejo de residuos como nunca antes, generando reacciones polémicas desde varios sectores de la población. Con un panorama global y nacional preocupado por la importancia del correcto manejo de los desechos sólidos urbanos, paulatinamente en el ámbito local se han implementado acciones orientadas a dar respuesta a problemáticas ambientales, o por lo menos así lo ha manifestado el gobierno local en el discurso público.

El tiradero de Peñasco permaneció una década sin ningún cambio estructural. A finales de 2005 se implantó un programa piloto con la intención de convertir al tiradero de Peñasco en "estación de transferencia modificada". El propósito era que en Peñasco no se confinara más basura y así cumplir, en cierta medida, con lo dispuesto en la norma NOM-083-SEMARNAT-2003[6].

El plan era coordinar el funcionamiento del tiradero de Peñasco y el relleno sanitario Santa Rita, ubicado en la delegación de Villa de Pozos[7]. Se complementó el proyecto despejando un área denominada "plancha de pepena", ahí los camiones descargarían la basura permitiéndole a los pepenadores tomar materiales útiles, y el resto de los desechos transportarlos hasta el relleno sanitario. Dicho proyecto nunca se concretó por completo debido a la falta de capacidad para transportar todos los desechos a Santa Rita, la ausencia de coordinación en el transporte de los camiones recolectores e incluso las malas condiciones de los caminos en Peñasco, que en época de lluvia hac-

[5] Existen pequeños grupos de choque que confrontan directamente al líder por antiguas rencillas familiares, así como algunas inconformidades manifestadas por los pepenadores de origen muy diversos (excesivo cobre de cuotas para las credenciales que el sindicato emite o el acaparamiento de dadivas que el gobierno municipal emite), pero al enfrentar una crisis o conflicto que ponga en riesgo su trabajo en el tiradero, todos los pepenadores se reúnen en torno a la organización y apoyan puntualmente las decisiones adoptadas por el líder.

[7] Comenzó a operar en el 2000, éste intentaba apegarse a la norma oficial NOM-083-ECOL-1996, y a pesar de que no cumplía con todas los puntos establecidos en dicha norma, se encontraba definitivamente en mejores condiciones que el tiradero de Peñasco.

ían sumamente difícil el viaje de trailers de Peñasco hasta Santa Rita. Lo que propició que se continuara depositando desechos en Peñasco.

Con el paso del tiempo se generó un clima de tensión alrededor de Santa Rita. Durante los primeros años de funcionamiento, mucho material "rico" (potencialmente separable y reciclable), era confinado directamente en Santa Rita sin que los pepenadores tuvieran la oportunidad de separar materiales. Los pepenadores comenzaron a hacer reclamos a ayuntamiento, incluso cerraron temporalmente el relleno e impidiendo el paso a todo camión que intentar depositar. A ello hay que agregar que colonos del lugar también se manifestaron exigiendo a gobierno municipal el cierre del tiradero, alegando molestias por vivir cerca de un sitio de confinamiento de desechos.

El relleno sanitario operó hasta finales del 2006. Santa Rita fue clausurado, según las versiones oficiales, por las constantes quejas de los vecinos. Otra de las explicaciones, ampliamente comentada entre funcionarios públicos, es que había inversionistas que tenían proyectos de construcción en la zona cercana al relleno sanitario, y que a favor de que se llevaran a buen término los proyectos, le solicitaron al entonces candidato del PAN a la presidencia municipal el cierre del relleno. Una de los primeras acciones que realizó dicho candidato al tomar posesión fue el cierre del relleno, favoreciendo que se siguiera confinando desechos en el tiradero de Peñasco.

La serie de acontecimientos reseñados, muchos propiciados por las propias autoridades municipales, crearon las condiciones necesarias para evidenciar el precario funcionamiento del tiradero de Peñasco. La única vía de solución propuesta fue la concesión del saneamiento de Peñasco a una empresa privada.

Fue así que en febrero de 2007 se aprobó conceder a la empresa regiomontana Vigue, Relleno Sanitario S.A. de C.V. la remediación del sitio. La remediación constaba de varios puntos: resolver las características de construcción y operación del sitio, como la compactación de la basura depositada en el cerro de basura[8], la construcción de una red de pozos de captación y conducción del biogás, así como de un sistema de captación y conducción de lixiviados. La intención inicial era clausurar la parte en la que se confinaba (cuestión que no se les manifestó abiertamente a los pepenadores) y que operaba de forma irregular, para más adelante utilizar un área aledaña de reciente adquisición, como una nueva celda de disposición final, diseñada bajo la norma oficial.

1.1 Encuentro de actores y arenas de conflicto: intereses colectivos frente a intereses privados.

La incursión de la iniciativa privada en el manejo de los desechos ha generado incertidumbres ya que implica la modificación de la gestión de los residuos, y eventuales repercusiones en los actores involucrados en los procesos. La intención en este apartado es mostrar cómo se ha construido y retado el mantenimiento del sistema, desde varios niveles, a partir de las perspectivas y acciones de los actores que tienen intereses sobre un espacio en disputa como Peñasco. Para ello retomaré una situación específica: la remediación del tiradero de Peñasco. Un suceso que forma parte de un *continuum* de hechos, antecedido por el proyecto de "estación de transferencia modificada" en 2005, y precedido por la concesión del sistema de aseo público a mediados de 2008, episodio que condensa el panorama enfrentado en el vertedero ante una intervención que busca el cambio.

Como ya se mencionó, la "estación de transferencia modificada" no tuvo éxito. Los problemas que enfrentó el proyecto desentrañan una dinámica de planeación accidentada, que básicamente trató de cuidar dos puntos: subsanar un requerimiento de la normatividad vigente de forma rápida, pero sin afectar todo un sistema complejo de relaciones, intentando prevenir enemistades con grupo numeroso de pepenadores a quienes por años municipio dejó apropiarse de este espacio. La falta de entendimiento del trabajo diario en el tiradero de Peñasco, por parte de los diseñadores del proyec-

[8] El que antes era un hoyo de considerable profundidad ahora es un cerro de aproximadamente 22 metros de altura.

to, así como la incapacidad y falta de voluntad para modificar de manera integral el confinamiento de los desechos municipales, no sólo echaron por tierra el proyecto, sino que sacaron a la luz otras problemáticas.

Luego vino el cierre del relleno sanitario de Santa Rita. Este hecho provocó que se le diera mayor atención a la problemática del confinamiento en Peñasco (a pesar de operar por más de 15 años en condiciones irregulares), presentándolo ante la opinión pública como una crisis que necesitaba ser prontamente resuelta. La imagen promovida de eficiencia (técnica y económica) y rapidez del sector privado, intentó dar la pauta para un rompimiento con el pasado, la intervención de la iniciativa privada se manejó como la mejor solución, si no es que la única.

Afuera del tiradero la remediación se apoyó con el discurso del ayuntamiento en el que se reforzó la idea una administración municipal "Ambientalmente Responsable", preocupada por resolver retos que los anteriores gobiernos no habían asumido. Asimismo de un ayuntamiento y empresa, también por problemas de tipo social como la precaria situación de los pepenadores en el tiradero. Para ello la empresa propuso en su plan de remediación una serie de obras para los pepenadores: capilla, vestidores/baños, comedor/área techada, estancia infantil y finalmente una plataforma para organizar la venta del material.

Se puede vislumbrar que ante la constante animosidad que los pepenadores muestran ante este tipo de proyectos, los inmuebles fueron una respuesta para contener las posibles inconformidades que se hubieran podido generar, e incluso revertir este sentir y transformarlo en una prerrogativa para los pepenadores. Se supondría que las obras fueron acordados con el Sindicato Único, como una muestra de que la empresa no venía a desplazarlos, sino incluso a contribuir a mejorar su condición actual.



Foto 2. Obras hechas por Vigue para los pepenadores (Comunicación Social H. Ayuntamiento de S.L.P., 21 de diciembre de 2007).

A través de este tipo de estrategias se inició un negociación e intercambio, si no de favores, si de "accesos", los cuales se tuvieron haber dado previo a la aprobación de la incursión de la empresa, ya que en esta ocasión el Sindicato Único no promovió movilizaciones ni protestas de tipo de las que se habían dado en el pasado frente a situaciones similares. Habría entonces de por medio una negociación en donde se acordó que los pepenadores permitirían el "acceso" de la empresa en el tiradero para realizar la remediación, mientras que la empresa no se inmiscuiría de ninguna forma en la labor de la pepena, es decir, seguiría reconociendo el "acceso" de los pepenadores a su fuente de trabajo en Peñasco.

En el contextos de trabajo diario existe una confrontación latente entre los trabajadores operativos de la empresa-ayuntamiento y los pepenadores, quienes por su parte llenos de desconfianza ante los nuevos actores y proyectos emprendidos, se desenvuelven con mayor recelo, lo que en ocasiones desemboca en confrontaciones físicas. Se da una dinámica en donde el personal de la empresa responsable de la operación del proyecto mantienen cierto recelo ante los pepenadores, pero tienen que negociar y ganarse cotidianamente su respeto para que éstos no interfieran u obstaculicen las labores del proyecto de remediación.

Por otro lado, la confrontación no se da sólo con los pepenadores, también entre los trabajadores de ayuntamiento y los de la empresa privada, debido a fuertes rivalidades sobre las competencias de unos y otros.

En lo que respecta a los trabajos de remediación la empresa cumplió parcialmente y fuera de tiempo con los acuerdos pactados: la nueva celda de confinamiento tenía deficiencias tan evidentes como rasgaduras en la geomembrana, los sistemas de captación de lixiviado tardaron más de un año en ser terminados, la remediación se prolongó por más de los 18 meses contemplados, todavía hoy en día se siguen depositando desechos en la nueva celda construida en Peñasco, la cual también ya ha rebasado su capacidad.



Foto 3. Vista aérea de los trabajos de remediación del tiradero de Peñasco (Comunicación Social de H. Ayuntamiento de S.L.P., 22 de octubre de 2008)

Además, el clima de tensión existente entre los diversos actores que convergen en Peñasco generó que algunos aspectos de los trabajos de remediación no fueran plenamente llevados a cabo, porque la invasión de territorios y competencias generaba la desconfianza y consecuentes reacciones hostiles de uno u otro actor.

Incluso actores que debían tener un desempeño imparcial obstaculizaban o encaminaban su trabajo a favor de intereses personales o de grupo, en demérito de las tareas en el tiradero. Un ejemplo claro es el caso de la Dirección de Ecología y Aseo Público, quien operaba como un actor importante en las negociaciones, no sólo a favor del bienestar público.

La Dirección no es una institución con proyectos homogéneos y su actuación no se destaca por operar bajo una racionalidad tecnoburocrática estricta. Su desempeño puede ser ambiguo o contradictorio de acuerdo a las tensiones y demandas que ejerzan los demás actores sociales, pero también los empleados del ayuntamiento muestran una tendencia a posicionarse (comportarse) con cierta distancia en relación a la acción gubernamental e institucional, es decir, actuar bajo la lógica de sacar adelante el trabajo diario a toda costa a pesar de que el discurso institucional ("Ambientalmente Responsable") vaya en otra dirección.

Otra forma de interacción que afecta los trabajos en el tiradero se da entre pepenadores y ayuntamiento-empresa, ya que esta casi siempre se presenta mediada[9]. La intermediación se lleva a cabo por la poca claridad que los pepenadores de base tienen sobre las posiciones y funciones de las autoridades en el sitio, lo que genera cierta posición ventajosa tanto de los coordinadores como del líder (información o recursos que los favorecen de manera personal sobre los demás pepenadores).

El líder es una figura clave, virtualmente la única, en la articulación de los actores y niveles involucrados en el tiradero. Para las autoridades este personaje cobra particular importancia por ser el portador de los mensajes y coordinador del gremio para los fines que el ayuntamiento proponga, a cambio de beneficios otorgados discrecionalmente. En el caso de la remediación, su apoyo a la iniciativa fue fundamental para que los pepenadores no actuaran con mayor suspicacia y se generaran reacciones violentas. El líder, en su discurso ante la opinión pública, incluso manifestó su beneplácito de la incursión de la empresa a Peñasco, por su aportación ambiental y la conciencia social de la empresa (la obras en beneficio de los pepenadores[10]).

[9] A nivel de pepenadores e ingenieros operativos esta mediación se da por lo general a través de los coordinadores. En cuanto al gerente de la empresa o funcionarios de la Dirección de Ecología, ésta se realiza mediante el líder

[10] Obras que en su totalidad nunca han sido plenamente apropiadas por los pepenadores. La capilla es muy pequeña para que los pepenadores acudan a ella; los vestidores/baños siempre han permanecido cerrados; el comedor/área techada, es utilizada tan sólo cuando hay juntas del Sindicato; la estancia infantil tardó en ser acondicionada para su uso, el sitio está a cargo del DIF municipal, por lo que los pepenadores sentían desconfianza de que sus hijos fueran retenidos por dicha institución; y por último, la plataforma acondicionada para organizar la venta del material y que consistía en jaulas metálicas, tan sólo unas cuantas fueron aprovechadas, aquellas que quedaban más cercanas a la plancha de pepena.

Con el tiempo, la relación de los pepenadores con la empresa, si no fue de entendimiento, por lo menos si de respeto. La empresa nunca intervino directamente en el desempeño de la pepena, lo que eventualmente le hizo ganar la confianza de los pepenadores de Peñasco.

En otro nivel, la situación se tornó más compleja. Por un lado, la responsabilidad sobre el tiradero todavía recaían en el ayuntamiento de San Luis Potosí, que dentro del conocimiento de los pepenadores (particularmente el líder) es la autoridad encargada. Pero por otro lado, el espacio que fue ganando la empresa, incluso con el eventual apoyo de la base de pepenadores, y con el aparente desvanecimiento del ayuntamiento del mapa al ir cediendo la responsabilidad de la gestión de la disposición final a la empresa, dibujaba un panorama cada vez más confuso e incierto sobre el tiradero, cargando la balanza de responsabilidades cada vez más sobre la empresa.

Justo cuando el conflicto parecía llegar a una resolución, el término del contrato de remediación y las declaraciones de la Dirección de Ecología sobre su incapacidad para satisfacer el servicio de aseo público generaron una vez más un clima de incertidumbre sobre el futuro del manejo de los desechos sólidos. Se dio a conocer la intención de concesionar el sistema completo de aseo público con fuertes reacciones de oposición. Se dio una protesta generalizada por parte de las Uniones de Recolección Voluntaria y el Sindicato Único de Pepenadores, por su inminente desaparición del sistema de manejo de residuos.

Finalmente, en febrero de 2009, se concluyó otorgar la concesión del servicio de recolección, tratamiento y disposición final de los desechos municipales, por un periodo de 15 años, a la empresa Red Recolector, S.A. de C.V., grupo empresarial al que pertenece Vigue Relleno Sanitario. La más fuerte oposición se dio por parte del sector informal, quienes tras muy sonadas manifestaciones públicas lograron firmar un acuerdo con la empresa y el ayuntamiento para garantizar el respeto de su trabajo por el período que dure el contrato.

En el presente se continúa afrontando un panorama lleno de controversias por la concesión del sistema de aseo público, por el hecho de proponer como única vía de solución la participación del sector privado y las implicaciones económicas, sociales y medioambientales que esto implica.

V. CONCLUSIÓN

El panorama que afronta la gestión de los residuos sólidos en San Luis Potosí es compleja, ya que claramente se percibe un problema altamente politizado en el que se plantean soluciones no desde las vías técnicas, financieras y ambientalmente más adecuadas en búsqueda del bienestar público, sino desde la persecución de intereses de ciertos actores.

La situación se torna aún más delicada cuando las soluciones propuestas no plantean la integración y vinculación de los diferentes actores que por años han participado en la gestión de los desechos sólidos. Trayendo como consecuencia que, por un lado, se prive de una fuente importante de trabajo a un sector que se ha sostenido con estas formas de trabajo, y que por otro parte, sean desaprovechados los conocimientos y aportaciones de esta mano de obra especializada, la cual ha contribuido al tratamiento de los desechos por más de 20 años.

Dentro de la literatura sobre gestión de los residuos sólidos hay varias propuestas que plantean la revalorización del trabajo del sector informal, tanto a favor de ellos, mejorando su calidad de vida; así como auxiliar de los propios sistemas de gestión, aportando beneficios en el ámbito económico, como en el ambiental (Alonso, 2006-2007; De Lima, Caputo, de Lima y Cardozo, 2009; Medina, 2006; Nas and Jaffe, 2003; Rogerson, 2001).

Las soluciones a plantear son muy diversas, primordialmente su formalización para una correcta integración a los sistemas, pero además para contribuir a crear mejores alternativas de vida.

Las nuevas tendencias en la de gestión de residuos sólidos plantean con claridad la necesidad de observar el panorama global en el que se inserta la problemática de la basura y su gestión. En el caso del tiradero de Peñasco parece claro al ob-

servar todos los elementos, actores e intereses que van configurando las decisiones en torno a la gestión de los desechos. Este caso es un botón de muestra de la situación que tienen que afrontar los países en vías de desarrollo donde los retos son complejos y las múltiples dimensiones político, sociales y culturales van determinando fuertemente el rumbo de la gestión de los residuos sólidos. Por ello la importancia de contemplar de manera integral los problemas que envuelven a la gestión de residuos sólidos, y generar de la misma forma alternativas de solución.

RECONOCIMIENTOS

Agradezco al Dr. Mauricio Genet Guzmán por su invaluable colaboración en la conclusión del presente trabajo, así como a la Dra. Horacia Fajardo y al Dr. Gerardo Bernache por sus valiosos comentarios al borrador de tesis. Con particular gratitud a El Colegio de San Luis y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el soporte institucional que otorgaron a través de la beca que apoyó la presente investigación.

REFERENCIAS

Alonso, A., 2006-2007. La ocupación temporaria del espacio urbano: una mirada a los actores sociales del circuito informal de los residuos en Santa Rosa, La Pampa, Argentina. Huellas, 11, 195-233.

De Lima, D., M. Caputo, C. de Lima and L. Cardozo, 2009. Proposal of social inclusion and improvement of the quality of life and health of collectors of recyclable materials of viçosa - mg through the physical activity. Fitness and Performance Journal, Vol, 8, 2, 115-122.

López, A., 2007. Uniones voluntarias de recolección de basura. Redes sociales y relaciones de poder. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

Loredo, E., 2008. Diseño de un Modelo para el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos. Caso: Zona Metropolitana de San Luis Potosí. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

Medina, M., 2006. The World's Scavengers: Salvaging for Sustainable Consumption and Production. Altamira Press, USA.

Nas, P. And R. Jaffe, 2004. Informal Waste Management. Shifting the focus from problem to potencial. Environment, Development and Sustainability, 6, 337-353.

Rogerson, C., 2001. The waste sector and informal entrepreneurship in developing world cities. Urban forum, Vol. 12, 2, 247-259.

EL MANEJO LOCAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS CON PARTICIPACIÓN COMUNITARIA, UNA PROPUESTA PROBADA

Aníbal Quispe Limaylla, Ph. D.
Profesor Investigador Titular
Programa de Estudios del Desarrollo Rural
Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo
E-mail: anibalq@colpos.mx; Telf. 015959520288

RESUMEN

El propósito de este trabajo fue analizar las experiencias generadas sobre el manejo y aprovechamiento de los RSOU, con participación comunitaria. El método de investigación utilizado fue la sistematización de experiencias. Después de casi diez años de iniciado el proyecto, los resultados muestran que el problema de la basura orgánica, puede ser resuelto si la gestión se realiza a nivel local, usando tecnología e infraestructura apropiada y con participación de la gente. El 60% de las 280 familias de la colonia separa su basura y la traslada al centro de compostaje comunitario (CCC). En este espacio de 800 m², convertido en un espacio de demostración y aprendizaje, se recibe y maneja, semanalmente, alrededor de 900 kilos de basura orgánica. Usando procedimientos biológicos, como el lombri-compostaje, la basura orgánica es convertida en abono de calidad, el cual es usado mayormente en la producción de hortalizas. El proyecto demostró que con la estrategia de gestión local (módulo), los RSOU, envés de ser materiales de contaminación, como sucede en los rellenos sanitarios, se convierten en un producto de valor económico. Finalmente, con la estrategia generada, los gastos del servicio de limpia del municipio se reducen, se contribuye a la educación medioambiental y a la alimentación local de la población.

Palabras claves: *residuos sólidos urbanos, basura orgánica, lombri-compostaje, reciclaje de basura.*

ABSTRACT

The purpose of this research work was to analyze the generated experiences on the management and use of the urban organic wastes (UOW) with community participation. The used research method was the systematization of experiences. After 10 years initiated the project, the results show that the problem of the UOW could be solved if the management is from local level, using appropriate technology and infrastructure with participation of the people. Sixty percent of the 280 families living in the neighborhood, separate their wastes and the organic are carried, by them, to the Community Composting Center (CCC). In this area of 800m², converted in an area of demonstration and learning, it is received and managed around 900 kilograms of organic wastes. Using biological procedures, like worm composting, the organic wastes are transformed in a quality organic fertilizer, which, in turn, is used mostly in the production of vegetables. So, the project demonstrated that using the local management strategy (modules), the UOW,

instead of being a contamination material, as happen in the landfill dumping, it is converted in a product of economic value. Finally, the project also contributed to reduction of the municipality wastes services expenditures, environment education and local quality vegetables supplies.

Key words: *management of urban solid wastes, organic wastes, worm composting, recycling wastes.*

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los temas relevantes sobre la protección y conservación del medio ambiente, en los años recientes, ha sido sobre la basura o técnicamente residuos sólidos urbanos (RSU). En la medida en que la población crece y se orienta hacia el consumismo, el volumen de RSU también aumenta en proporciones considerables, el cual, al no ser recolectados, trasladados, ni manejados adecuadamente, se convierte en un medio enorme de contaminación para el suelo, agua y aire y consecuentemente para la salud pública.

En México y otros países latinoamericanos, los organismos responsables de la gestión de los RSU son los gobiernos municipales y con frecuencia estos enfrentan serios problemas porque no poseen los medios tecnológicos adecuados, económicos ni jurídicos suficientes, ni el personal preparado (Acurio, A. *et. al*. 1997). Así mismo, no todo los RSU que se generan en las ciudades es recolectado para su disposición final. Este es el caso de la ciudad de Texcoco cuya población que haciende a casi 200 mil habitantes, genera diariamente alrededor de 120 toneladas de RSU. De este total, 70% es destinado al relleno sanitario y 30% arrojado en los tiraderos clandestinos, vías públicas, arroyos, bosques y terrenos baldíos (Ayuntamiento de Texcoco, 2003).

Por diversas razones, que más adelante se explican, la denominada basura no es destinada ni manejada adecuadamente por los ayuntamientos. Frente al enorme problema efecto que está produciendo la basura mal manejada, se requiere de políticas y programas que tengan como base las experiencias y la tecnología necesaria. En apego a esta necesidad, en junio de 2000, un grupo de personas iniciamos un proyecto de investigación y acción denominado: "Manejo y aprovechamiento integral de los residuos orgánicos domésticos con participación comunitaria", en la Colonia Santiaguito, Texcoco, estado de México, cuyo propósito fue generar y difundir los conocimientos y experiencias de manejo de la basura orgánica, a nivel local y con participación comunitaria. Los trabajos se realizan en un área de 800 metros cuadrados, denominado Centro de Compostaje Comunitario (CCC).En este trabajo describimos y analizamos las razones del proyecto, los logros alcanzados, sus procesos, dificultades y retos.

II. LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA DE LA BASURA

En los años recientes, el método más recomendado para manejar los RSU municipales ha sido el relleno sanitario. Este consiste en un espacio destinado a la disposición final de desechos o basura (RSU) en el cual se deben tomar múltiples medidas para reducir los problemas generados por otro método de tratamiento de la basura como son los tiraderos; dichas medidas son, por

ejemplo, el estudio meticuloso de impacto ambiental, económico y social desde la planeación y elección del lugar hasta la vigilancia y estudio del lugar en toda la vida del vertedero (Wikipedia, 2010). El procedimiento de manejo consiste básicamente en que a medida que se va colocando la basura, ésta es compactada con maquinaria y cubierta con una capa de tierra y otros materiales para posteriormente cubrirla con una capa de tierra de alrededor de 40 cm de grosor y sobre esta depositar otra capa de basura y así sucesivamente hasta que el relleno sanitario se da por saturado.

Esta definición de relleno sanitario, sugiere que éstos deben ser debidamente construidos y la basura manejada apropiadamente para evitar la contaminación del agua superficial y subterránea por los lixiviados que drenan; al aire y el daño a la capa de ozono por los diferentes gases tóxicos, como el metano, bióxido de carbono, entre otros, que se originan al descomponerse la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Por todo ello, los rellenos sanitarios deben ser construidos de acuerdo a las normas establecidas. Sin embargo, de acuerdo a los reportes internacionales, muy pocos son los casos en América Latina que cumplen dichas normas. Otro problema de los vertederos es que cada vez la oportunidad para instalar un nuevo vertedero se reduce, debido a que grupos de pobladores se resisten a que se construyan cerca de sus terrenos, viviendas y recursos naturales.

Como es de observar, el problema de los RSU no es sólo de disposición y manejo, sino, al igual que en casi cualquier problema ambiental, involucra otros ámbitos que encarna un conflicto entre la racionalidad y el beneficio individual y los intereses y el bienestar colectivo (Quadri, *et al*. 2003). Los mismos autores indican que resolverlo exige tres ingredientes que pueden aplicarse en distintas dosis y combinaciones. El primero se refiere a las reglas impuestas por un agente externo (como el Estado) o decididas colectivamente y cuya observancia pueda hacerse obligatoria. El segundo es la cooperación de las personas a través de ajustar de manera voluntaria y coordinada sus conductas relacionadas con la basura (en donde existe el riesgo de que, ante la posibilidad de obtener beneficios particulares, ciertos individuos decidan no cooperar, lo que frecuentemente hace inviable esta modalidad de acción colectiva). El tercero, es la creación de contextos jurídicos, institucionales y contractuales que permitan el surgimiento y operación de servicios comerciales y de mercados de subproductos, en los que todos los individuos cubran – de alguna forma – el costo de llevarse la basura fuera de su alcance visual y de disponer de ella de manera económica, social y ambientalmente aceptable. Desde luego, este dependerá del tipo de basura o residuo que la persona, grupo o empresa lo genera.

Para superar la problemática descrita, varios países, sobre todo los europeos, se comprometieron, con la celeridad posible, reducir el envío de los residuos orgánicos a los rellenos sanitarios. De acuerdo a Green Peace (2005), los resultados alcanzados y las metas propuestas han sido muy conservadores, considerando la tecnología existente para el tratamiento de los residuos orgánicos. Si bien es cierto que resulta más fácil y menos costoso el continuar disponiendo la basura en los rellenos sanitarios, no se debe seguir usando este sistema en forma indiscriminada, por los motivos mencionados en párrafo anterior.

Este análisis sugiere la necesidad de modificar el rumbo actual del acostumbrado enterramiento masivo de la basura. Para ello se requiere incluso, derribar barreras culturales y con ello factores logísticos, técnicos, culturales y económicos. Según Green Peace (2005), en lugar de ver a los residuos como un problema, debemos considerarlo como una fuente de recursos aprovechables. En este sentido, Del Val (2008), también señala que debemos aceptar que los residuos derivados de las actividades económicas extractivas, transformadoras, consumidoras, no son otra cosa que recursos naturales desaprovechados.

Así mismo, en la gestión tradicional de los RSU, siempre ha prevalecido el traslado y la disposición final en grandes volúmenes, en donde los componentes van mezclados, lo que dificulta su reciclaje o reutilización y por ende un manejo adecuado. Si bien, a menudo, parte de la porción denominada no orgánica, como los vidrios, metales, cartones, maderas, etc., son seleccionados en el origen, trayecto o destino final, por gente que procura algún beneficio económico, la otra parte, conformada por residuos orgánicos putrescibles, que constituye alrededor del 50%, raras veces es seleccionada y aprovechada.

Teniendo en cuenta la considerable porción de la fracción orgánica de los RSU, resulta evidente la importancia de separar y manejar esta fracción mediante métodos más sustentables, de tal modo que los residuos orgánicos se conviertan en productos benéficos, como abono y/o biogás y no en materiales peligrosos, como el metano, que al liberarse a la atmósfera, genera un impacto al que se le llama efecto invernadero (Murray, 2002, citado por Green Peace Argentina, 2005).

Además, no debemos ignorar que la materia orgánica, como fuente de nutrientes, fueron removidos del suelo y que deberían volver a su origen para cerrar el círculo del proceso natural biológico. Basado en la ley natural de la materia orgánica, se debe utilizar procedimientos para que los residuos orgánicos se conviertan en recursos útiles. Dentro de los métodos para lograrlo se encuentran el compostaje con y sin lombrices y la biodigestión (Lemus, 2001).

El compostaje es un método utilizado desde épocas históricas para transformar desperdicios orgánicos en abono para las plantas. Este método imita el mecanismo de descomposición que ocurre espontáneamente en la naturaleza, pero en forma rápida. Al compostear el residuo orgánico se cierra el ciclo de la materia orgánica, ya que los nutrientes que fueron tomados del suelo por las plantas vuelven al suelo para continuar con el ciclo. El producto del proceso de compostaje es llamado humus, que es tierra de color pardo oscuro, sin mal olor, que contiene nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, hierro y otros elementos minerales necesarios para la vida de las plantas. El humus, por sus características, permite una buena capacidad de retención del agua, permite una aireación adecuada (porosidad), aumenta la infiltración, permeabilidad y estructura del suelo. Por estas propiedades, el humus es un abono excelente para las plantas.

El proceso de compostaje puede ser de dos formas: 1) cuando en el proceso de descomposición de la materia orgánica intervienen sólo micro-organismos, como bacterias, hongos, entre otros; 2) cuando, además de los microorganismos también participan las lombrices de tierra. En este

último caso se denomina lombri o vermi compostaje. Considerando el volumen de materia orgánica, el proceso de compostaje puede realizarse en pequeñas, medianas o grandes volúmenes. Las experiencias indican que el proceso de compostaje y su manejo se hace más dificultoso en la medida en que se incrementa el volumen, siendo más complicado con el vermi-compostaje.

En lo que respecta a la biodigestión, es un proceso de descomposición de los residuos orgánicos en un medio anaeróbico, en el cual diferentes grupos de microorganismos intervienen en la descomposición. Este proceso, en condiciones anaeróbicas, genera una cantidad importante de metano, dióxido de carbono, algo de nitrógeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno. El producto de este proceso controlado, es denominado biogás que puede ser utilizado como energía de luz o calor.

Si bien, en el mundo en general y América Latina en particular, ya hay numerosos ejemplos de tratamiento de los residuos orgánicos a través de los métodos de compostaje y biodigestión, éstos todavía son escasos para mostrar la efectividad de los resultados. Por ejemplo para lograr un compostaje efectivo, es indispensable separar los residuos orgánicos en su origen. De no hacerlo así, además de ser costoso su manejo, el producto no sería el adecuado. Entonces, la separación de la basura en su origen se presenta como el principal desafío. Las experiencias en diversas partes del mundo indican, sin embargo, que no debe escatimarse el esfuerzo ni los costos para lograr la separación de la basura en el origen (Lesur, 1998 y FAO, 2000).

En el caso de México, sobre la separación de la basura, la misma Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, en su artículo 33 señala que "Todo generador de residuos sólidos debe separarlos en orgánicos e inorgánicos, dentro de sus domicilios, empresas, establecimientos mercantiles, industriales y de servicios, instituciones públicas y privadas, centros educativos y dependencias gubernamentales y similares. Estos residuos sólidos, deben depositarse en contenedores separados para su recolección por el servicio público de limpia, con el fin de facilitar su aprovechamiento, tratamiento y disposición final, o bien, llevar aquellos residuos sólidos valorables directamente a los establecimientos de reutilización y reciclaje" (Gobierno del Distrito Federal, 2003).

A pesar de tener las normas jurídicas para separar la basura en la ciudad de México, escasamente se lleva a cabo la separación. Aun en los casos en que éste se realice, al momento de su traslado, los trabajadores de los servicios de limpia, las vuelven a mezclar, o la porción orgánica no es manejada apropiadamente, trayendo como consecuencia la incredulidad de la gente para separarla. La respuesta de ciertos funcionarios para no seguir insistiendo a que la gente separe su basura es que no se cuenta con los medios apropiados para trasladar la fracción orgánica, el espacio ni la tecnología para manejar en forma adecuada. Esta situación se ha dado en la gran mayoría de las ciudades del país en que no hay o son escasas las acciones para promover la separación de la basura.

De lo anterior se desprende que aun cuando existe el instrumento jurídico para que la gente cumpla con la separación de la basura, no se lleva a cabo, porque los municipios o entidades encargadas de velar por el manejo de los RSU, no disponen de los medios ni mecanismos

para el traslado de la fracción orgánica, el espacio, la infraestructura, la tecnología, ni la gente preparada para manejarla en forma apropiada. Esto indica a su vez, que para manejar adecuadamente los RSU, requiere de un programa amplio que incluya la investigación para generar la tecnología apropiada, la capacitación del personal contratada para este tipo de trabajo y acciones permanentes de educación ambiental a la sociedad, para que se involucren en cualquiera de las fases de gestión de los RSU, al menos en la separación.

III. OBJETIVOS

Describir y analizar el proceso, los logros, y limitaciones del proyecto "Manejo y aprovechamiento integral de los residuos orgánicos domésticos con participación comunitaria".

IV. METODOLOGÍA

El método general utilizado fue la sistematización de experiencias que consiste en un proceso sistemático de reflexión participativa efectuado por los facilitadores y participantes de un proyecto (Selener, 1997). Este proceso incluyó mediciones, experimentos simples, entrevistas, observación participante, entre otros.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado describimos y analizamos los procesos, los medios y recursos utilizados, así como los resultados y el impacto del proyecto.

Elementos de la estrategia utilizada

Los elementos de la estrategia consistieron en: 1) establecer un módulo, en la propia comunidad, con la infraestructura apropiada, para que la gente pueda observar, entender y decida participar; 2) campañas continuas de orientación y educación para la separación de la basura doméstica; 3) capacitación sobre los diferentes procesos que involucra el manejo apropiado de los RSO; 4) investigación continua, incluyendo la experimentación, para afinar las tecnologías y elementos de la estrategia; 5) establecer contacto continuo con instituciones gubernamentales, organizaciones sociales y la sociedad civil, para difundir los resultados y las experiencias generadas y 6) evaluación continua de los procesos y resultados.

La infraestructura y los apoyos para su construcción

En la primera fase del proyecto, la infraestructura fue rudimentaria y gracias a los experimentos de prueba y error se logró obtener mayor conocimientos sobre la infraestructura acorde a las nuevas necesidades de manejo de los RSO. Este espacio es denominado centro de compostaje comunitario (CCC), el cual abarca 800 m² y está dividido en los siguientes compartimentos: 1) área de acopio de los residuos orgánicos; 2) área de compostaje, compuesta por 44 composteras o "camas" bajo malla sombra; 3) área de producción de hortalizas en invernadero; 4) área producción de hortalizas a cielo abierto, compuesta por 16 parcelas; 6) Una bodega; 7) dos baños; 8) área de limpieza; y 9) una cisterna para captar agua de lluvia. Las áreas de cultivo y compostaje poseen un sistema de riego por goteo y nebulizado respectivamente. Toda el área está protegida con electro malla, árboles y plantas ornamentales, dando una apariencia de un pequeño parque jardín.

Para la construcción de la infraestructura y compra de equipo, herramienta e

insumos, los recursos provinieron de varias fuentes en calidad de donación.

Sobre el volumen de residuos orgánicos acopiados y manejados

En la actualidad se recibe, semanalmente, entre 900 a 1,000 kilos de basura orgánica totalmente separada. La separación es realizada por la propia familia en su casa y trasladada al CCC. Una vez acopiada, la basura orgánica es sometida a un proceso de compostaje con lombrices. El volumen de basura orgánica que se acopia proviene del 60% de las 260 familias de la colonia y de otras de colonias circunvecinas. En épocas de lluvia y festividades, el volumen ha sido mayor que en épocas de seca o fechas comunes. En el CCC se recibe solamente basura orgánica, cuya composición está integrada mayormente por residuos de cocina y frutas y verduras en descomposición. Los residuos de jardinería son escasos, pero se incrementan desde la primavera hasta el otoño.

El manejo de la basura orgánica

La basura orgánica acopiada es sometida a un proceso de descomposición en las composteras o también llamadas "camas". Estas son de cemento y cada una tiene una dimensión de 3.00 m de largo, 1.00 m de ancho y 0.30 m de alto, con capacidad para recibir 1,200 kilos de basura orgánica. Estas dimensiones son apropiadas para un proceso de compostaje adecuado, que es producto de varios años de experimentación. Las camas con esas dimensiones permite la fácil manipulación durante el proceso para permitir la oxigenación del material en descomposición y la extracción del humus y lombrices. Una vez llenada la "cama" con basura orgánica, es cubierta con pasto seco o paja para ayudar a mantener la humedad. Después de 25 días de iniciado el proceso de descomposición, el material es inoculado con 2.0 kilos de lombrices de la especie *E. andrei*, denominada también "roja californiana". Antes de aplicar las lombrices, se revisa que la temperatura del material en descomposición no tenga más de 30ºC. Las lombrices no son incorporadas antes de los 25 días porque la temperatura del material en descomposición puede llegar hasta 67°C, en el cual las lombrices no sobrevivirían. Después de incorporadas las lombrices, el proceso de compostaje continua hasta un período de 3.0 meses. Este puede variar según el manejo que se le dé; lo recomendable es mover ligeramente el material con un bieldo, al menos una vez por semana para facilitar la penetración de oxigeno. Los cuidados que se tienen en este período son: que tenga suficiente humedad y temperatura adecuada, no ingresen roedores ni otras especies que afecten el proceso.

Cuando el material orgánico completó su proceso de descomposición, se realiza la separación de las lombrices, para lo cual se revisa que el material debe estar totalmente descompuesto. Un buen indicador para saber si una composta está suficientemente degradada (mineralizada) es el olor a tierra húmeda y el color a café o pardo oscuro. La separación de las lombrices se realiza utilizando el comportamiento natural de las lombrices: se trasladan a donde haya humedad y alimentos.

Uso de la composta

Una vez convertida la basura orgánica en composta (humus), ésta es utilizada en la producción de hortalizas en un invernadero y en parcelas a cielo abierto o es vendida o regalada a las familias que proporcionan su basura. La mayor parte de la composta es utilizada en la

producción de hortalizas. Las áreas de producción de hortalizas están localizadas en espacios contiguos a la de compostaje: un invernadero de 8 x 20 m y 16 parcelas a cielo abierto de 5.0 x 1.5 m. En el invernadero se produce mayormente jitomate y pepino y en las parcelas a cielo abierto, hortalizas de diferente tipo, en mono o poli cultivo. La cantidad de composta aplicada varía según el tipo de hortalizas, sin embargo, en todos los casos no hubo restricción, pudiendo llegar al cien por ciento. En todos los casos, las plantas han tenido una excelente respuesta a la composta.

La participación de las familias en el proyecto

Uno de los propósitos del proyecto fue que los habitantes de la colonia intervinieran conscientemente en alguna o todas las actividades de las fases del proyecto. Las fases o momentos incluye: separación y traslado de la basura al CCC, proceso de compostaje, separación de las lombrices, harneado, uso de la composta en la producción de hortalizas, gestión y administración, evaluación, capacitación y difusión de las experiencias.

Durante los casi diez años de funcionamiento del proyecto, la participación de la gente ha variado; mientras que la participación se incrementó en la separación y traslado de de la basura orgánica, en las otras actividades, disminuyó sustancialmente. La meta fue que al menos el 90% de las familias de la colonia separen su basura y la trasladen al CCC. Este incremento se debe, por propia declaración de la gente, a que el CCC está ubicado en un lugar estratégico para dejar la basura orgánica y observar lo que se están realizando en él. Ahora, no sólo las familias de la colonia llevan su basura al CCC, sino también de otras colonias vecinas.

La disminución de la participación de las familias en otras actividades, llegando a ser nulas en algunas, se debió básicamente a que no disponen de suficiente tiempo cuando no logran retribución en dinero o especie por su trabajo. Cada parcela estaba asignada a una familia para que se responsabilizara en la producción de las hortalizas. Este tipo de resultados también se percibió en las otras actividades, como el compostaje, separación de las lombrices y venta de las hortalizas. Las experiencias de esta etapa nos indican que la participación de la gente, sobre todo voluntaria para realizar acciones que ameritan esfuerzo y dedicación, se agota; por lo que es necesaria que ciertas actividades deben ser realizadas con retribución económica.

Acciones para lograr la participación de la gente local

Se refiere básicamente a las acciones realizadas al inicio del funcionamiento del proyecto, sobre todo para que la gente se decidiera a separar su basura y luego trasladarla al CCC. En esta fase se utilizaron varias estrategias: explicaciones en asambleas de la comunidad, sobre la importancia de la separación de la basura, su manejo apropiado y la utilidad de la composta, incluyendo acciones demostrativas, in situ, de los procesos. Entre otras acciones más sobresalientes en esta fase fueron: la conformación de un teatro con señoras, niña(o) s y varones adultos y la elaboración de un video. La segunda fase tuvo como característica principal la demostración, in situ, del proceso de compostaje y el uso de la composta en la producción de hortalizas, plantas ornamentales y aromáticas. Estas acciones fueron las que más influyeron

para que la gente se decidiera a participar en el proyecto, sobre todo para que separara su basura y la orgánica la trasladara al CCC. Los propios vecinos de la colonia lo manifestaron al señalar que "vale la pena separar la basura porque es procesada y utilizada en beneficio de la propia comunidad".

La experiencia de diez años en el manejo de la basura orgánica con participación comunitaria nos indica que, si bien en la sociedad hay una escasa cultura y conciencia para destinar y manejar adecuadamente la basura, con procedimientos sistemáticos de explicación y demostración del manejo apropiado de la basura y su uso, es posible vencer la indiferencia y apatía de la gente.

La organización para el funcionamiento del proyecto

El proyecto está bajo la responsabilidad de un comité, integrado por cinco miembros, elegidos en asamblea de la comunidad. El comité, integrada totalmente por mujeres, trabaja en colaboración con el gestor y coordinador del proyecto. Las gestiones, decisiones y acciones relevantes son informadas y consultadas a las autoridades y a la asamblea de la comunidad. Aun no tenemos un reglamento, pero se tiene contemplado elaborarlo para un mejor funcionamiento del proyecto.

Impacto del proyecto

A diez años de haber iniciado el proyecto, en forma ininterrumpida, se logró generar y probar una estrategia apropiada sobre la gestión de los RSOU, con enfoque local y participación comunitaria. El módulo se convirtió en un centro de demostración y capacitación sobre cómo manejar la basura orgánica localmente, con participación comunitaria. En concreto, con cierta regularidad se ha tenido visitas de estudiantes de media superior y superior, productores del campo, promotores y técnicos interesados en el tema, no sólo del municipio, sino también de otros ámbitos del estado. Aunque aun aisladas, hemos recibido solicitudes para asesorar la instalación de centros de compostaje en colonias y comunidades vecinas. Estos hechos nos indican que la gente, no sólo local, sino también de otras latitudes se está dando cuenta de que la basura orgánica se puede resolver localmente con participación de la gente.

Los resultados del proyecto nos ofrecen elementos para afirmar que es posible resolver el problema de la basura, especialmente la orgánica, usando el enfoque local y comunitario. Con la experiencia generada se confirma que la basura orgánica, en vez de ser un problema, se convierte en un recurso benéfico como abono de excelente calidad, cuando es manejada adecuadamente.

El impacto también se deja notar cuando se observa que el carro de la basura del servicio municipal recoge, en gran medida, sólo basura no putrescible. El volumen es cada vez menor y no contiene humedad con lo que se evita la corrosión de los metales del vehículo. Esto, aunque no se realizó estudio alguno, se deduce que tiene efectos favorables en la reducción de los costos de los servicios de limpia del municipio.

Con la producción de hortalizas y la venta o donación de la composta, se ha generando algún ingreso económico y contribuido a la alimentación de las familias de la localidad.

Finalmente, con el propósito de seguir contribuyendo a resolver el problema de

la basura, se ha difundido los resultados hasta ahora logrados y las experiencias generadas. La difusión se ha hecho a través de escritos, folletos, videos, etc. para que la gente conozca y las aplique en sus contextos locales.

Limitaciones y debilidades del proyecto

Una de las limitantes desde el inicio del proyecto ha sido la escasez de recursos, tanto para la construcción de la infraestructura como para la operación del mismo, pero se fue superando en la medida en que se lograron los apoyos. Otra de las situaciones que limitó el avance del proyecto ha sido la escasa valoración del proyecto por parte de las autoridades locales y municipales, lo que ha motivado la poca respuesta a las solicitudes de apoyo. Un tercer factor ha sido la escasa cultura de la gente para trabajar voluntariamente en algo que beneficie a la comunidad y sociedad, por ello, aun prevalece la apatía en un sector de la población para participar en el proyecto. Pero la experiencia nos indica que es posible vencer esta limitante.

VI.CONCLUSIONES

La protección del medio ambiente y la salud de las personas, ahora y siempre, deben ser las aspiraciones fundamentales de toda sociedad, más aún, en un mundo con un acelerado crecimiento poblacional y un consumismo desproporcionado, que trae como consecuencia una generación abundante de residuos o basura y que en gran medida no son manejados adecuadamente a pesar de contar con métodos y tecnologías alternativos. Si bien hasta la fecha los gobiernos y los organismos encargados de velar por la limpieza de las ciudades han utilizado métodos convencionales para la gestión de los residuos sólidos urbanos, la realidad y los resultados de estudios indican que en la gran mayoría de los casos no se ha resuelto el problema de la basura ni la gente ha adquirido la conciencia y hábito para contribuir a resolver dicho problema. Sin embargo, es digno de reconocer que instituciones gubernamentales y no gubernamentales, nacionales e internacionales, están haciendo esfuerzos para generar métodos y tecnologías para resolver el problema de la basura, de acuerdo a las realidades culturales, sociales y económicas de cada ciudad, región o país. El caso de las experiencias de la cual se trató en este trabajo, claramente evidencia de que la gestión de los RSOU, que constituye alrededor del 50% del total generado, puede resolverse con participación de la gente a nivel local. Este enfoque propone que el acopio y manejo de la basura debe realizarse a nivel de barrio, colonia, unidad habitacional o comunidad. De este modo, no sólo se reduciría los gastos de traslado de la basura, sino también se evitaría la generación de gases peligrosos y la contaminación del suelo y agua subterránea, como sucede en los rellenos sanitarios. Con este enfoque, por el contrario, se beneficia a la población con la producción de alimentos sanos y nutritivos y se logra que la gente tome conciencia de la necesidad de su participación en la solución del problema de la basura. Los trabajos de casi diez años del proyecto, ha demostrado que los RSOU, en vez de ser un problema, se convierte en un recurso benéfico como abono de excelente calidad, cuando es manejada adecuadamente. No se debe escatimar esfuerzos ni gastos económicos en el uso de estrategias probadas para resolver el problema de la basura.

REFERENCIAS

Acurio, G; A. Rossin; P. F.Teixeira; y F. Zepeda, 1997. Diagnóstico de la

situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe. Publicación conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana. Washington, D.C. 130 pp.

Ayuntamiento de Texcoco, 2003. El servicio de limpia en Texcoco. http://www.todotexcoco.com/texcoco, Consultado en junio 2008.

FAO, 2000. La agricultura urbana y periurbana, Comité de Agricultura. http://www.fao. Consultado en diciembre 2002.

Gobierno del Distrito Federal, 2003. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal, el 22 de abril de 2003. México, D. F.

Green Peace Argentina, 2005. Basura Cero: Recomendaciones para un Tratamiento Ambientalmente Saludable de los Residuos Orgánicos. www.greenpeace.org.ar/basuracero. Consultado agosto 2003.

Lemus, A., 2001. "¿Qué se puede hacer con la basura? Compost y compostaje". Parte 1. Desde la Ciencia 4: 5 – 13.

Lesur, L., 1998. Manual del manejo de la basura: una guía paso a paso. México: Trillas, p. 96.

Quadri, G., G. Wehenpohl, J. Sánchez-Gómez, A. López-Villalobos, A. Nyssen-Ocaranza, 2003. La Basura en el Limbo: Desempeño de Gobiernos Locales y Participación Privada en el Manejo de Residuos Urbanos. Primera edición. México. Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental (COMIA) y Agencia de Cooperación Alemana (GTZ).

Quispe, A. 2000. Aprovechamiento de la basura orgánica doméstica con participación comunitaria en el Municipio de Texcoco. Propuesta. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.

Selener, D. 1997. La sistematización de proyectos de desarrollo, una metodología de evaluación participativa para fortalecer la capacidad institucional de ONGs y Organizaciones populares. Instituto Internacional de Reconstrucción Rural de la Oficina Regional para América Latina. Quito, Ecuador. http://www.care.org.pe/intranet/care/e&a/metodologia/ortrasorganz/bibliotseguimtoe&a/Sistematizacion/Manualsistema.html. Consultado en junio de 2002.

Wikipedia, 2010. Basura. http://es.wikipedia.org/wiki/Basura. Consultado en febrero 2010.

La percepción de los funcionarios públicos sobre la problemática de los residuos

P.A. Taboada [1,*], Q. Aguilar [1], C. Armijo [2], S. Ojeda [3], X.M. Aguilar [4]

[1] Estudiante de Doctorado del programa Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería. Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California

[2] Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California

[3] Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California

[4] Instituto Tecnológico de Tijuana

Baja California, México

email: * taboadapa@gmail.com

Resumen

La gestión de los residuos en los municipios es compleja y no puede abordarse desde una perspectiva cuantitativa solamente. Existen aspectos de carácter cualitativo, como la preparación y experiencia de los tomadores de decisiones, que influyen en el diseño y operación de los sistemas de manejo de residuos. Por ello, este estudio tuvo por objetivos conocer: a) la percepción de los tomadores de decisiones sobre la problemática de los residuos a nivel municipal, b) los procesos y criterios empleados en la toma de decisiones, c) los aspectos clave a considerar en la selección de tecnologías para el tratamiento de residuos. El proceso inició definiendo los mecanismos de recolección de la información y estrategias respecto a posibles escenarios en la obtención de la información. Se entrevistaron a aquellas personas que intervienen en el proceso de toma de decisiones a nivel municipal y estatal. La confiabilidad de los resultados se reforzó por triangulación de la información proporcionada por los entrevistados. Para crear significados, los datos recabados se estructuraron siguiendo la metodología de Martínez (1999). Los resultados revelan que en los tres niveles de gobierno falta asignar una partida específica destinada al tratamiento de los residuos sólidos municipales y que la cultura de la sociedad constituye un factor clave en el desarrollo de programas de gestión de residuos.

Palabras Clave – percepción, residuos, análisis cualitativo

Abstract

The management of municipal waste is complex and cannot be addressed solely from a quantitative perspective. There are qualitative aspects, such as preparation and experience of decision makers who influence the design and operation of waste management systems. Therefore, this study was aimed to reveal: a) the perception of decision makers on the problems of waste at the municipal level, b) the processes and criteria used in decision making, c) the key issues to consider in the selection of technologies for waste treatment. The process began by defining the mechanisms for collecting information and strategies on possible scenarios for obtaining the information. Those involved in the decision making process at the municipal and state levels were interviewed. The reliability of the results was enhanced by triangulation of information provided by respondents. To create meaning, the data collected were structured following the methodology of Martínez (1999). The results reveal that the three levels of government need to assign a specific finance line for the processing of municipal solid waste and that the culture of society is a key factor in the development of waste management programs.

Keywords – perception, waste, qualitative analysis

I. INTRODUCCIÓN

La investigación cualitativa sirve para analizar, comprender y/o explicar hechos de la vida social por medio de significados y desde una perspectiva holística, pues se trata de describir experiencias de las personas relacionadas al objeto de estudio, comprender el contexto que rodea a los datos y entender el conjunto de cualidades interrela-

email coautores: qaguilarv@gmail.com, carmijo@uabc.edu.mx, sojedab@uabc.mx, xmaguilar@gmail.com

cionadas que caracterizan a un determinado fenómeno (R. Hernández et al., 2008; Mejía, 2004).

Existen aspectos de la problemática de los residuos sólidos no puede abordarse únicamente desde una perspectiva cuantitativa. En las diferentes etapas de la gestión de residuos existen aspectos políticos, religiosos, organizacionales, personales o de conocimiento de los tomadores de decisiones, todos ellos de carácter cualitativo, que afectan la operación y resultados del sistema.

Actualmente en las comunidades rurales San Quintín y Vicente Guerrero, pertenecientes al municipio de Ensenada, Baja California, la gestión de residuos no se hace adecuadamente. Una observación rápida al sistema revela deficiencias en la recolección, mala disposición por parte de los habitantes, ausencia de control en los residuos recolectados y una forma impropia de tratar finalmente los residuos (incineración al aire libre) por parte de personas no calificadas (pepenadores).

Con el interés de revelar la complejidad de la problemática del manejo inadecuado de residuos en estas comunidades rurales, se realizó un estudio cualitativo que tuvo por objetivos conocer: a) la percepción de los tomadores de decisiones sobre la problemática de los residuos a nivel municipal, b) los procesos y criterios empleados en la toma de decisiones, c) los aspectos clave a considerar en la selección de tecnologías para el tratamiento de residuos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Esquema de trabajo

Este estudio se realizó durante el primer semestre del 2009. Se inició el proceso definiendo la estrategia a emplear y se construyó un diagrama para visualizar los pasos a seguir durante el proceso de entrevistas (ver fig. 1). Se determinó que la población de estudio sería únicamente la de los tomadores de decisiones, puesto que estos son los que marcan la pauta a seguir por parte del mismo gobierno y la sociedad en general.

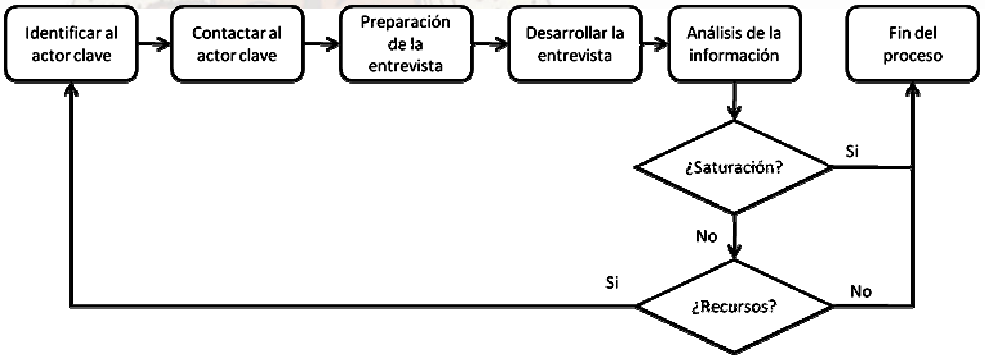


Figura 1. Esquema de trabajo para la investigación de campo
Fuente: Elaboración propia.

Se definieron estrategias de recolección de información pensando en los posibles escenarios. Para los casos donde no se permitiera el uso de grabadora, se escribiría rápido mientras hablaba el entrevistado; la escritura sería fluida y sin uso de preposiciones y artículos; los errores se indicarían por un subrayado sobre los mismos, sin borrar; las notas que no se pudieran terminar en el sitio de la entrevista, se terminarían dentro de los 30 minutos posteriores a la conclusión de la entrevista (para evitar omitir detalles o impresiones).

2.2 Recolección de datos

Para la recolección de datos se empleó la entrevista, formulando las preguntas de acuerdo a las características de los entrevistados. Para el caso de informantes clave, se consideraron preguntas tendientes a recabar información para contextualizar (carácter general). Para los actores clave se consideraron preguntas más específicas de la pro-

blemática, dividiendo esas en tres categorías: problemática, tecnologías y decisiones. Debido a que los funcionarios públicos tienen tiempos reducidos para atención, se decidió aplicar entrevistas semiestructuradas.

Al final de cada entrevista se llenó un registro de observación general. Esto permitió comprender la situación a medida que se iba avanzando, y coadyuvó a puntualizar cierta información en las entrevistas posteriores.

2.3 Procedimiento para la reducción de sesgos

Previo a la entrevista, se realizó una plática informal con los entrevistados. La finalidad de ello fue "romper el hielo" con el entrevistado y dar un ambiente más relajado. Se les hizo saber cuál era la finalidad del estudio y el por qué se les había considerado para entrevistarlos.

Durante el proceso de entrevista se hicieron aclaraciones sobre las preguntas, pero se evitó dar explicaciones durante la entrevista. Esta situación se presentó principalmente en las preguntas sobre tecnologías de tratamiento propuestas. La confiabilidad de los resultados se reforzó por triangulación de la información proporcionada por los entrevistados.

2.4 Análisis de la información

Para crear significados, los datos recabados se estructuraron siguiendo la metodología de Martínez (1999). Para ello, el primer paso fue transcribir las entrevistas grabadas. Posteriormente se categorizó la información dividiendo el contenido en unidades temáticas (párrafos que expresen una idea o concepto central) y asignando un término o expresión a cada unidad temática. En el caso de las categorías que presentaron propiedades o atributos diferentes, se asignó una sub-categoría. Esta etapa del proceso se realizó empleando el software Atlas.ti. A la vez que se realizaba la categorización, se observaron relaciones y se construyeron redes y significados. Una vista parcial de la red construida se muestra en la figura 2.

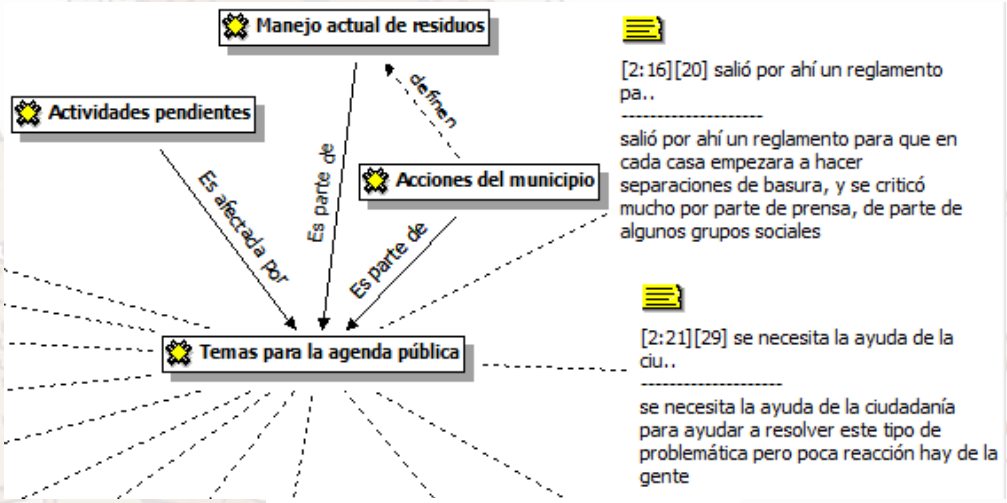


Figura 2. Redes de información
Fuente: Elaboración propia.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron un total de siete entrevistas a personajes clave a nivel municipal y estatal y cuatro a informantes clave a nivel municipal.

Durante el desarrollo de las entrevistas algunos entrevistados (principalmente actores clave con alto nivel de influencia en la toma de decisiones) permitieron el uso de grabadora. Esto dio más fluidez a la entrevista y facilitó la inclusión de preguntas adicionales para comprender mejor el contexto de los temas discutidos.

Diversos autores (Carrasco and J. F. C. Hernández, 2000; Medina et al., 2006; Tarrés, 2001) in-

dican que los resultados de la investigación cualitativa no son fácilmente transferibles o generalizables debido a que cada investigación se basa en situaciones particulares y específicas o en contextos dados resultados. Por ello, en este estudio se acopió la mayor cantidad de información, de acuerdo a las posibilidades, para establecer correspondencia entre el contexto investigado y otros similares y aumentar la transferibilidad de los resultados.

El resultado del proceso de análisis fue una red de relaciones que muestra la complejidad del sistema. Debido a su tamaño, no puede exponerse la totalidad de la red en este documento, por lo que se presenta parte de esta en la figura 3.

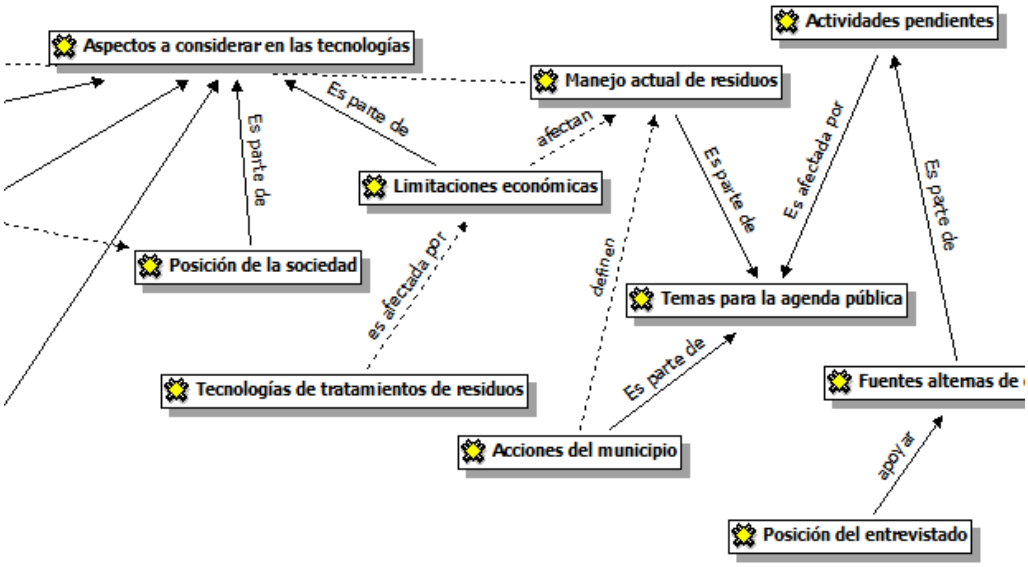


Figura 3. Red de relaciones entre categorías
Fuente: Elaboración propia.

La sociedad juega un papel muy importante en operación del sistema en general, sin embargo los entrevistados concuerdan en que existe poca conciencia de la sociedad sobre la necesidad de disminuir la generación y manejar apropiadamente los residuos. De acuerdo a los actores clave, lo que la sociedad busca es deshacerse de sus residuos y que desaparezcan lo más lejos posible del hogar ("no en mi patio trasero"). Taboada et al. (2009), en un estudio en San Quintín y Vicente Guerrero, Ensenada, México, encontraron que el 98% de las personas entrevistadas considera que los residuos son un problema para el ambiente (aire, tierra, suelo), sin embargo a menos del 45% les interesa lo que sucede con sus residuos una vez que son retirados de sus hogares. Este comportamiento requiere de mayor estudio para comprender que es lo que provoca tan bajo interés y que acciones se tienen que realizar para mejorar.

Los entrevistados mencionaron que el gobierno ha realizado diversas acciones para tratar de subsanar el problema de la mala disposición de residuos, tal como clausura de vertederos clandestinos. Sin embargo, la falta de cultura de las personas y las limitaciones económicas para desarrollar una investigación que permita encontrar a los responsables del hecho y sancionarlos, provoca que el problema continúe. Se ha observado que en las periferias de la ciudad de Ensenada las personas depositan sus residuos en calles, lotes baldíos, arroyos y costas. En las comunidades rurales el comportamiento es similar, solo que la situación se agrava por la práctica común de la incineración al aire libre como medio de eliminación de residuos.

Respecto a la cultura en el manejo de residuos, el gobierno ha actuado al respecto colocando spots en los diferentes medios para promover la reducción de residuos y fomentar programas de

reciclaje en las primarias, sin embargo no se tienen datos sobre la efectividad de estas actividades.

Las acciones del municipio en el manejo de residuos se limitan básicamente a la recolección y disposición en algún sitio, sea o no adecuado. En el caso de la cabecera municipal, la disposición de residuos se hace en un relleno sanitario que cumple con la normatividad mexicana NOM-083-SEMAR-2003 y es operado por una compañía particular. En las comunidades rurales de San Quintín y Vicente Guerrero se hacen en vertederos que no cumplen la normatividad y que son operados por personas no calificadas (pepenadores).

Las inversiones municipales en el manejo de residuos se hacen principalmente en la fase de recolección, con la adquisición de camiones recolectores. Informantes clave mencionaron que el gobierno invierte en aquello que pueda ser visto por las personas, como los camiones, debido a que políticamente es más redituable. Los efectos de una inversión en un relleno sanitario no son visibles por la sociedad, mientras que leer en el periódico sobre la compra de nuevos camiones da la sensación de respuesta al problema de los residuos.

Se indicó que las políticas de inversión en manejo de residuos sólidos las maneja el estado y la baja a los municipios, y que no hay partidas especiales para la problemática de los residuos. Por ello, la asignación de partidas específicas para comenzar a tratar los residuos en México, es un tema al que se debe de dar prioridad para garantizar la preservación del medio ambiente. Esta actividad queda pendiente para la agenda pública.

Una observación generalizada fue que se necesita desarrollar tecnologías para el tratamiento de residuos con recuperación de energía para abatir sus costos y comenzar a combatir los problemas derivados por el incremento en la generación de residuos. Aguilar et al. (2009) exponen que cuando se usan los residuos sólidos como fuente de energía se pueden obtener beneficios económicos y ambientales, además de evitarle a los municipios los costos por disposición de residuos.

De manera paralela al desarrollo de tecnologías, se debe trabajar en aspectos sociales y políticos que puedan afectar la implementación de dichas tecnologías. Los tomadores de decisiones expresan que al municipio le falta una herramienta o estudio que le permita evaluar diversos aspectos para la toma de decisiones. A manera de ejemplo, citan que en el Municipio de Ensenada se han presentado propuestas tecnológicas para tratar los residuos, pero el desconocimiento de los efectos ha llevado a tomar decisión de no aplicarlas en tanto no se conozcan más de fondo mecanismos operativos, efectos y medios de control. De lo anterior, se aprecia que la falta de sustento puede provocar que un proyecto sobre tratamiento de residuos sea rechazado y con ello se pierda la oportunidad de gestionar recursos para su implementación.

En el tema de valorización de materiales para lograr la sustentabilidad, el municipio busca promover la cultura de reciclaje en la sociedad pero carece de la infraestructura necesaria para concretar este objetivo. Ojeda-Benítez et al. (2003) exponen que para desarrollar un programa de recuperación de materiales reciclables es necesario tener compañías receptoras u organizaciones que se hagan cargo de recibir y procesar los residuos separados previamente. Sin embargo, en el municipio no existe equipo para hacer recolección separada ni separación en los centros de acopio por parte del municipio. Se han realizado pruebas pilotos de reciclaje por parte del municipio, pero la falta de mercados para colocar los materiales secundarios impidieron continuar con los proyectos. Existen empresas particulares que están buscando aprovechar los residuos, pero su efecto sobre la generación total es desconocido, debido a que las autoridades carecen de información sobre el comportamiento del reciclaje en sectores privados y públicos.

Sobre la metodología empleada en este estudio se puede expresar que las etapas de categorización y creación de significados son las que consumen gran parte del tiempo total del estudio.

Esto sucede porque las categorizaciones se deben de hacer con cautela, considerando las posibles sub-categorías y relaciones, lo que lleva a leer con paciencia cada documento en más de una ocasión. En la creación de significados, se requiere de mayor atención puesto que se tienen que considerar todos los documentos y el contexto en que fueron creados.

CONCLUSIONES

El manejo de residuos es un problema complejo por la gran cantidad de variables que intervienen. La sociedad, el gobierno y las dependencias educativas deben comenzar a trabajar concurrentemente para definir compromisos y comenzar a trabajar en actividades sustantivas que permitan consolidar el sistema de gestión de residuos. Solo el trabajo constante permitirá ir sentando las bases para concretar lo indicado en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Seguir actuando de forma independiente, como se hace actualmente, solo postergará el problema.

Los tres niveles de gobierno deben trabajar en la asignación de una partida específica para el manejo y tratamiento de los residuos sólidos municipales, de la misma forma como la tiene seguridad pública, infraestructura, partidos políticos, dependencias gubernamentales, por mencionar algunos.

REFERENCIAS

Aguilar, Q., Armijo, C., y Taboada, P., 2009. El potencial energético de los residuos sólidos municipales. Revista Académica FI-UADY 13, 59-62.

Carrasco, J. B., y Hernández, J. F. C., 2000. Aprendo a investigar en Educación. Rialp, Ediciones, S.A.

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P., 2008. Metodología de La Investigación. McGraw-Hill, México, D.F.

Martínez, M., 1999. La investigación cualitativa etnográfica en educación: Manual teórico-práctico. Trillas, México, D.F.

Medina, E. P. J. L., Moya, J. L. M., y Barcelona, U. D., 2006. Deseo de cuidar y voluntad de poder. La enseñanza de la enfermería. Universidad de Barcelona.

Mejía, J., 2004. Sobre la Investigación Cualitativa. Nuevos Conceptos y Campos de Desarrollo. Investigaciones sociales 8.

Ojeda-Benítez, S., Vega, C. A. D., y Ramírez-Barreto, M. E., 2003. Characterization and quantification of household solid wastes in a Mexican city. Resources, Conservation and Recycling 39, 211-222.

Taboada, P., Armijo, C., y Aguilar, Q., 2009. Estudio de residuos sólidos y percepción social en comunidades rurales de Ensenada, Baja California. In II-UABC, Mexicali, Baja California, México, p. 8.

Tarrés, M. L., 2001. Observar, escuchar y comprender sobre la tradición cualitativa en la investigación social. Flacso México/Colmex/M.A. Porrúa.

Presentación
Antecedentes
Extensos
Sede
Contacto

13. Gestión integral.

- La gestión de los residuos en los municipios de la cuenca del río Ayuquila, Jalisco.
- Prácticas de consumo, manejo y disposición final de aparatos domésticos eléctrico-electrónicos.
- Manejo integral de los residuos en la UACM.
- Mejora de un sistema de gestión municipal en una ciudad fronteriza: un caso de estudio.
- Participación acción para el diseño de un modelo de manejo integral de residuos sólidos urbanos.

La gestión de los residuos en los municipios de la cuenca del Río Ayuquila, Jalisco.

Gerardo Bernache Pérez
Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social
Unidad Occidente
Guadalajara, Jalisco, México
email: gbernache@yahoo.com.mx

Resumen
Esta ponencia presenta la experiencia positiva de la Junta Intermunicipal del Río Ayuquila (JIRA). La Junta es un organismo que legalmente incorpora, para fines de gestión de residuos sólidos municipales, a 10 municipios de la cuenca del Río Ayuquila en la región sur del estado de Jalisco. Esta región tiene su centro en las dos ciudades mayores que son Autlán de Navarro y El Grullo.

Los diez ayuntamientos de la región han desarrollado, bajo la coordinación de la JIRA, nuevas estrategias para el manejo de los residuos sólidos municipales que incluyen: educación ambiental, promoción de la participación ciudadana, separación de residuos y reciclaje; además de un proyecto para la construcción de un relleno sanitario intermunicipal.

Este tipo de iniciativas intermunicipales es un ejemplo claro de cómo se puede abordar, desde las ciudades medias y pequeñas, una estrategia apropiada para disminuir el monto de residuos que termina siendo enterrado en vertederos. El promover la separación para el reciclaje de materiales y la construcción del relleno sanitario intermunicipal son acciones que resultan en una reducción significativa del impacto de la contaminación ambiental asociada a la disposición final de residuos.

Palabras Clave: gestión de residuos, sistema intermunicipal, programa de separación, sur de Jalisco.

Abstract
This paper presents the positive experience undertaken by the Intermunicipal Council of Río Ayuquila (JIRA). This Council is a public organism that legally incorporates 10 municipalities of the region south Jalisco in order to coordinate actions on waste management. This region has two main cities at the center, those are: Autlán de Navarro and El Grullo.

Under the coordination of JIRA, those ten municipalities have developed new strategies for municipal waste management. The new strategies include the following actions: environmental education, promoting citizen participation, waste separation and recycling, as well as a project to build a new sanitary landfill to serve all ten municipalities in this region.

This type of inter municipal initiatives is a clear example of how small and medium cities can operate to diminish the amount of solid wastes that end up buried in municipal dumps. Promoting waste separation for recycling of materials, along with the building of a sanitary landfill are actions that result in a significant reduction of the impact of pollution associated to burying garbage in dumps.

Key words: waste management; inter municipal system, separation program, South Jalisco.

I. INTRODUCCIÓN

La región que conforma la cuenca del Río Ayuquila es parte de la cuenca mayor del Río Armería. Esta cuenca se ubica en la zona sur del estado de Jalisco y en la franja central del estado de Colima. El río desemboca en el Océano Pacífico al sur de la ciudad portuaria de Manzanillo.



Figura 1.
Mapa de la ubicación de la cuenca en Jalisco y Colima
Fuente: Comisión Estatal del Agua, Jalisco

Desde la década de los noventas los ambientalistas y los académicos que residen en las ciudades de El Grullo y Autlán de Navarro empezaron a preocuparse por la degradación de la cuenca del Río Ayuquila. El cauce del río recibía descargas de drenajes municipales, así como descargas de las actividades agropecuarias y de la industria regional, entre otros los ingenios productores de azúcar. La cuenca provee del vital líquido a más de 130 mil residentes y a las actividades agropecuarias de la región, por lo que su cuidado es de vital importancia para la vida y para la producción económica (Díaz 2005, JIRA 2009).

Un componente importante del problema de la degradación de la cuenca era la basura que alcanzaba el cauce del río, así como los tiraderos que se ubicaban cerca de las márgenes del río. Por lo que el manejo integrado de los residuos sólidos municipales fue una de las primeras metas en la agenda para el cambio.

Sin embargo, la gestión integral de los residuos sólidos municipales es un proceso complejo que requiere la visión ambiental de la administración pública municipal encabezada por los alcaldes, de la participación social para el manejo apropiado y la separación de residuos, del impulso de sectores académicos comprometidos con la conservación, los buenos oficios de funcionarios de instancias estatales y federales, así como de empresas privadas.

Las primeras etapas del manejo integral han sido desarrolladas en la última década, los ayuntamientos han logrado consolidarse como una junta intermunicipal para efectos de coordinar sus acciones para el saneamiento de la cuenca del Río Ayuquila como su objetivo principal, lo cual requiere el control de la producción de basuras y su disposición final.

Esta iniciativa intermunicipal para mejorar la gestión de la cuenca fue ganadora del Premio Gobierno y Gestión Local 2005 (CIDE) que otorga la Presidencia de la República, un reconocimiento a los esfuerzos y logros en materia ambiental.

La presente ponencia se dedica a revisar y analizar los logros en materia de gestión de los residuos en los diez municipios de la región que conforma la cuenca baja del Río Ayuquila en el sur de Jalisco (ver Tabla 1).

Tabla 1.
Municipios de la Cuenca del Río Ayuquila

1. Unión de Tula
2. Ejutla
3. Autlán de Navarro
4. El Grullo
5. El Limón
6. Tuxcacuesco
7. Tonaya
8. San Gabriel
9. Tolimán
10. Zapotitlán de Vadillo

Estos municipios, del total de 125 municipios en el estado de Jalisco, cuentan con una población modesta. Seis municipios tienen menos de 1,000

habitantes, dos municipios apenas rebasan los 10,000 habitantes (San Gabriel y Unión de Tula), mientras que dos ciudades destacan por su población: El Grullo y Autlán con 21,825 y 53,269 habitantes respectivamente. En total, la población de esta región suma 133,331 personas que representan un 2.0% de la población del estado de Jalisco que asciende a 6.7 millones de habitantes (INEGI 2005).

1.1 La región

La Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila es conocida por su nombre corto de Junta Intermunicipal del Río Ayuquila o, simplemente, la JIRA. La iniciativa para mejorar el manejo de la cuenca baja del río Ayuquila surge de la colaboración de los gobiernos locales con la Dirección de la Reserva de la Biósfera de Manantlán (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, CONANP) y el Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad (conocido también como Instituto Manantlán y por sus siglas IMECBIO) de la U. de G. en el Centro Universitario de la Costa Sur ubicado en la ciudad de Autlán de Navarro. La Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente A.C. ha brindado un apoyo importante en la consolidación de la JIRA (Graf y colaboradores 2006 y 2009, JIRA 2009).

Tanto la Fundación Manantlán, como el Instituto Manantlán y la Dirección de la Reserva han aportado conocimientos y han realizado gestiones para que la JIRA fuese una realidad, aun ahora siguen apoyando sus acciones y su funcionamiento.

Los ayuntamientos de los diez municipios de la cuenca aportan recursos económicos para los programas de limpieza, saneamiento y gestión ambiental en la región. La Secretaría del Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable también contribuye con un presupuesto anual y otros recursos para la operación de la Dirección de la JIRA.

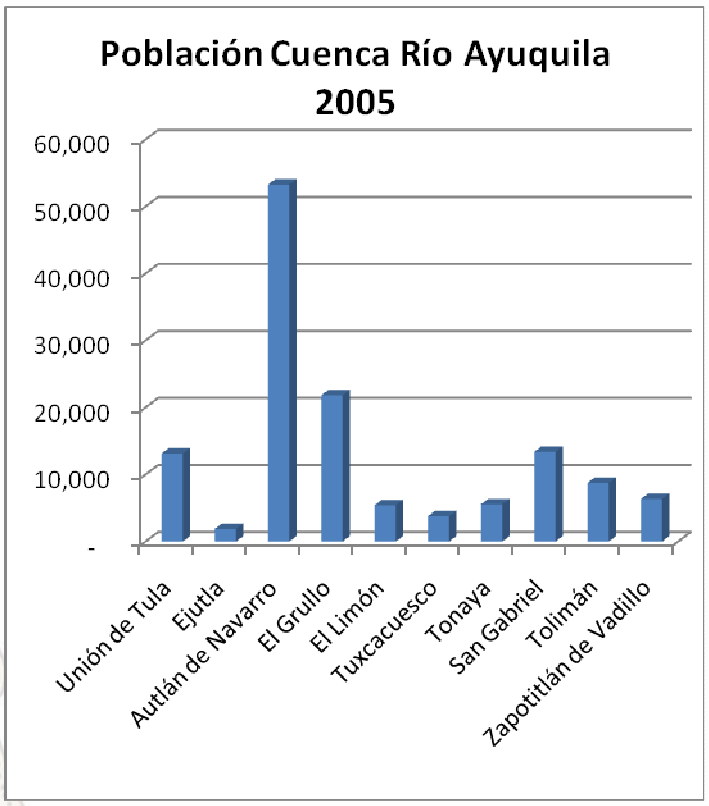


Figura 2. Población municipal 2005
Fuente: INEGI 2005.

1.2 Los problemas de la calidad del agua y la basura

El río Ayuquila nace en el municipio de Ejutla y desemboca en el océano Pacífico en un lugar conocido como Boca de Pascuales, un trayecto de 324 kilómetros. En ese trayecto se encuentran tres presas importantes que sirven para irrigar unas 60,000 hectáreas de cultivos (Díaz 2005, González 2009).

Algunos de los problemas más agudos respecto a la cuenca tenían que ver con las descargas de drenajes municipales (principalmente de Autlán de Navarro, el Grullo y Unión de Tula) que contribuyen con un 70% de la contaminación. Mientras que las descargas del Ingenio Melchor Ocampo contribuyen con un 30% de la contaminación, estas aguas residuales contienen residuos de sosa caústica (utilizada para el lavado de maquinaria), residuos de la molienda de caña, así

como las aguas de drenaje de la planta. En el ingenio se tuvo por mucho tiempo la práctica de tirar sus aguas residuales sin tratar al cauce del río. En diciembre de 1994 y enero de 1995 se sufrieron dos descargas de mayor magnitud lo que ocasionó la protesta de 30,000 productores de la región (Díaz 2005, González 2009, Graf y colaboradores 2006 y 2009).

Tres años antes, en enero 1992, las lluvias torrenciales habían causado inundaciones y ocasionaron también el deslave del vertedero de residuos de la ciudad de El Grullo, arrastrando cientos de toneladas de basura por el cauce del río. Esta basura inundó, a su vez, las localidades ubicadas más al sur ocasionando múltiples problemas ambientales y de salud.

> "Cuando el río venía sucio, los pescados que sacábamos se cocinaban y se desbarataban antes de poderlos comer, se deshacían entre los dedos, y los pantalones se trozaban, como si los hubiera cortado con tijera, exactamente a la altura a la que les llegaba el agua, y río abajo los vecinos se quejaban de escoriaciones en la piel y de muchas enfermedades en el estomago; las vacas echaban para afuera sus crías y mucho ganado que bebía del agua se moría, el agua apestaba muy feo, no se podía soportar" (entrevista a Pedro Preciado Naranjo, realizada por Martha González 2009:1).

El agua utilizada para las labores domésticas, para los cultivos y para los animales estaba contaminada y se tenían que tomar medidas para controlar dicha contaminación y dar el cambio hacia acciones de saneamiento del río y su cuenca.

El deslave del vertedero de El Grullo fue uno de los primeros detonantes para el cambio, los ciudadanos exigían no solo cambiar de lugar el vertedero, sino mejorar la gestión de residuos. El Instituto Manantlán presentó una campaña de educación ambiental en esta localidad, la campaña se enfocó en la separación de residuos para el reciclaje. La población de El Grullo respondió favorablemente y en el transcurso del siguiente año se reportaba que la separación alcanzaba hasta un 30% de los residuos generados en la ciudad (JIRA 2009).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta ponencia se elaboró a partir de los datos proporcionados por la propia JIRA, así como de la información obtenida en entrevistas realizadas durante un recorrido de observación por las calles principales, así como visitas a los dos vertederos municipales y los dos centros de acopio de las ciudades El Grullo y Autlán durante la primer semana de noviembre de 2009.

La información y datos obtenidos se sistematizaron y analizaron para calcular los montos de residuos separados en la región a partir de la iniciativa de separación que promueve la JIRA. Además, se desarrolla un análisis cualitativo de la gestión y de los logros obtenidos por los programas de manejo de residuos sólidos en los municipios participantes.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de residuos sólidos municipales en la región de la cuenca baja del río Ayuquila alcanza un monto de 130 toneladas por día en los diez municipios que participan en la iniciativa intermunicipal. La Tabla 2 nos muestra la producción diaria en kilogramos.

Tabla 2.
Producción de Residuos Municipales

Municipios	*Residuos Sólidos (kg)*
Unión de Tula	16,000
Ejutla	1,130

Autlán de Navarro	56,000
El Grullo	20,080
El Limón	8,800
Tuxcacuesco	1,400
Tonaya	4,500
San Gabriel	13,000
Tolimán	6,000
Zapotitlán de Vadillo	3,000
Subtotal	**129,910**

Fuente: JIRA 2009

Se ha calculado que con la infraestructura disponible en los diez municipios se puede separar un 28% del total de los residuos municipales, esto equivale a unas 36.4 toneladas por día. Ese es el potencial de reciclaje considerando material inorgánico como papel, cartón, vidrio, plásticos y otros tipos de materiales.

Los residuos que se producen se depositan en vertederos municipales que tienen cierto nivel de control de la contaminación. Sin embargo, ya existe una visión del manejo adecuado de los residuos que se refleja en diversas acciones que se han tomado, entre las que destacan las siguientes:

- Que los vertederos municipales se ubiquen lejos del cauce del río para que no lo contaminen y para evitar deslaves que arrastren toneladas de residuos como en el pasado.
- Vigilar para controlar que no haya tiraderos clandestinos en las márgenes del río o en zonas cercanas al cauce.
- Consolidar los dos Sistemas Intermunicipales de Manejo de Residuos (SIMAR) conocidos como SIMAR Ayuquila Valles y SIMAR Ayuquila Llanos, estos sistemas prevén la instalación de rellenos sanitarios para uso intermunicipal.
- Evitar que los contenedores de productos agroquímicos peligrosos (como pesticidas) lleguen a los vertederos municipales, esto se logra con un programa especial y un centro de acopio de plásticos agrícolas en la región.

En cuestión de disposición final se están dando los pasos necesarios para mejorar el sistema de disposición con la construcción de rellenos sanitarios más seguros y ubicados en un punto central de la zona para que puedan dar servicio a varios municipios.

Los programas de manejo y centros de acopio

La problemática de los residuos sólidos en la región de la cuenca baja del río Ayuquila se ha planteado en términos de su contribución a la degradación de la cuenca y del cauce del río.

Además, se ha identificado el problema del crecimiento en la producción de residuos que van a saturar los sitios de disposición final. Se tiene como un objetivo prioritario el controlar el crecimiento de los montos de residuos sólidos municipales, aumentar los montos de residuos separados y promover el reciclaje. Sin embargo, los ayuntamientos tienen ciertas debilidades en su capacidad y en su infraestructura para enfrentar el reto del manejo integral de residuos. La JIRA, en su página web, reporta los siguientes puntos débiles identificados antes de iniciar sus programas:

- "Baja capacidad técnica y administrativa de los organismos operadores del servicio.
- Carencia de planes maestros, estudios y programas para una atención a largo plazo.
- Poca infraestructura, principalmente en el almacenamiento, transferencia y disposición final apropiada
- Insuficientes e inadecuados equipos de recolección, en la mayoría de los casos obsoleto.
- Bajos niveles de recuperación, reciclaje y aprovechamiento de los residuos con tecnologías alternativas.
- Ausencia de mecanismos que permitan la recuperación de los costos de inversión y operación del servicio.
- Baja conciencia cultural por parte de la ciudadanía y autoridades en cuanto al manejo de los residuos sólidos domésticos" (JIRA 2009).

Se pueden identificar cuatro programas importantes que inciden sobre la mejoría en el manejo de los residuos sólidos en la región.

En primer lugar están los SIMAR que desarrollan una nueva infraestructura para recibir y comercializar los materiales separados en los hogares y domicilios. La recolección de residuos separados se canaliza a un centro de acopio para hacer una separación secundaria en subtipos de materiales, así como preparar el material para su entrega a los recicladores.

> En esta propuesta se establece la conformación de asociaciones intermunicipales para mejorar los servicios de recolección, traslado y disposición final de residuos, en un marco de reducción de costos al ser compartidos por dos o más municipios (JIRA 2009)

El desarrollo de los SIMAR ayudará a evitar los periodos de altibajos que se sufren al terminar cada periodo de tres años que dura la administración municipal

En segundo lugar está el Programa Intermunicipal de Educación Ambiental que está dedicado a promover los Programas Municipales para la Separación de Residuos sólidos. Estos dos programas van de la mano. Mientras en las acciones de educación ambiental se brinda información, se genera consciencia e impulsa la participación social. Los programas de separación establecen las formas en que los ciudadanos deben entregar sus residuos separados, los tipos de residuos que se reciben en los centros de acopio. El programa de cada municipio establece las rutas, los horarios, los tipos de contenedores y otros detalles de la forma en que se recolecta el residuo separado. Es importante señalar que los residentes de los municipios siguen disponiendo de sus basuras (residuos orgánicos y los inorgánicos no incluidos en los programas de separación) en las rutas de recolección regulares.

En los casos de El Grullo y Autlán, que el autor visitó recientemente, los centros de acopio de materiales son el eje para el manejo de los residuos separados. Cada uno cuenta con camionetas adaptadas para el manejo de residuos y personal dedicado a tanto a la recolección en las rutas preestablecidas como a la separación secundaria en el centro de acopio. Además, los particulares y las empresas suelen llevar sus materiales separados en sus propios vehículos.

En tercer lugar se encuentra el programa de separación de botellas de bebidas, en Autlán, para el cual se disponen de puntos donde se instala una estructura de malla en forma cilíndrica. Esta estructura sirve como contenedor de los envases y botellas de plástico, se instalan en la calle en esquinas y puntos de confluencia de tránsito en la ciudad.

Por último, ya se mencionó el centro de acopio de plásticos de uso agrícola y especialmente los envases de agroquímicos peligrosos. Este centro de acopio recibe el plástico en franjas largas de película que sirve de cobertura de la tierra para algunos cultivos. También recibe botellas y envases de plástico vacíos de pesticidas y otros agroquímicos.

En la primera etapa de funcionamiento de los programas de separación y de los centros de acopio se ha logrado separar unas 11 toneladas diarias de materiales para el reciclaje. La Tabla 3 presenta los montos de separación en cada municipio

Tabla 3.
Residuos separados para el reciclaje
Toneladas

MUNICIPIOS	RSM	Potencial	Reciclado
Unión de Tula	16.0	4.5	0.9
Ejutla	1.1	0.3	0.1
Autlán de Navarro	56.0	15.7	3.9
El Grullo	20.1	5.6	2.0

El Limón	8.8	2.5	1.3
Tuxcacuesco	1.4	0.4	0.1
Tonaya	4.5	1.3	1.3
San Gabriel	13.0	3.6	0.5
Tolimán	6.0	1.7	0.5
Zapotitlán de Vadillo	3.0	0.8	0.6
Total región	129.9	36.4	11.1

Fuente: JIRA 2009 con modificaciones del autor.

Estos son los datos que tenemos para el año 2009, en este año se habría alcanzado un 30% del objetivo de reciclar 36.4 toneladas diarias en la región, monto de los residuos potencialmente reciclables. Las 11 toneladas separadas representan un modesto 8.5% de los residuos municipales en la región.

Una limitación en el reciclaje es que los materiales separados deben procesarse en plantas industriales especializadas en plásticos, vidrio, papel, metales y otros. La región tiene su producción centrada en el campo, agricultura y ganadería, son pocas las industrias que pueden procesar materiales separados. Para ciertos materiales como el vidrio, el material se tiene que trasportar hasta otras ciudades como Guadalajara para poder reciclarlo.

Si bien ahora se ha empezado por los materiales inorgánicos, el siguiente paso debe considerar la fracción orgánica de los residuos, que podría representar un monto entre las 69 y las 91 toneladas diarias (del 53% al 70% de los residuos dependiendo de la localidad). Si en un futuro cercano se pudieran procesar residuos orgánicos en composta, el porcentaje de composteo y reciclado sería de 62% del total. Hay que reconocer que el composteo es una solución importante para el problema de la disposición final de residuos ya que la tecnología requerida es simple, aunque se requieren espacios amplios, maquinaria y personal para compostear cientos de toneladas de residuos cada semana.

IV. CONCLUSIONES

El trabajo de un número importante de académicos y líderes ambientalistas de la región ha impulsado y organizado la participación ciudadana en la protección de su ambiente regional en la cuenca baja del río Ayuquila. Esta iniciativa para mejorar la gestión ha ganado, muy merecidamente, un reconocimiento con el Premio CIDE 2005 "Gobierno y Gestión Local" ya que es un ejemplo de colaboración intermunicipal en un periodo de tiempo que supera los vaivenes asociados a los cambios de administración municipal.

En una primera etapa de la gestión de residuos se ha logrado mantener y consolidar la operación de los centros de acopio de materiales separados, así como el programa de separación en los hogares. El logro es que ya han pasado dos administraciones municipales y el programa se mantiene, algo que no es común en los gobiernos locales de México.

La separación de un mínimo de 11 toneladas diarias en la región es un paso importante en la dirección correcta que es la gestión integral de residuos. En la próxima década se podrá alcanzar el objetivo de separar unas 36 toneladas diarias de materiales inorgánicos, el 28% del total de residuos municipales.

Además, es importante que se considere empezar con programas de separación de residuos orgánicos, acopio de los mismos y someterlos a tratamiento para generar composta o mejorador de suelos. El tratamiento de residuos orgánicos, que representan el mayor componente de los residuos municipales en esta región, es una tarea pendiente.

V. RECONOCIMIENTOS

Mi reconocimiento a los colegas que hicieron posible la investigación para este trabajo, todos ellos miembros de la JIRA, a la Biol. Magdalena

Ruiz, al Lic. Alonso Zamora y al Mtro. Arturo Pizano por brindarme el acceso a la información y por invitarme a conocer el programa de gestión de residuos en Autlán y El Grullo a finales de 2009.

VI. REFERENCIAS

Del Castillo, Agustín, 2008. Río Ayuquila, crean OPD intermunicipal. Diario Mileno online. Ciudad y Región. 16 de noviembre de 2008. Consultado en http://impreso.milenio.com/node/7071007. 12 febrero 2010.

Del Castillo, Agustín, 2008b. Diseñan 2 sistemas para la basura en río Ayuquila. Diario Milenio online. Ciudad y Región. 25 de noviembre de 2008. Consultado en http://impreso.milenio.com/node/8103042. 12 febrero 2010.

Díaz Muñóz, José, 2005. Iniciativa Intermunicipal para la Gestión Integral de la Cuenca del Río Ayuquila (IIGICRA). Consultado en internet: http://innova.fox.presidencia.gob.mx/archivos/6/0/3/1/files/archivos/sip-8908.pdf. 23 de abril 2010.

González Escobar, Martha, 2009. Río Ayuquila: el reto que se volvió oportunidad. Diario El Informador. 29 de junio de 2009. Consultado en internet: http://www.informador.com.mx/jalisco/2009/115638/6/rio-ayuquila-el-reto-que-se-volvio-oportunidad.htm 2 de mayo 2010.

González-Franco de la Peza, Rafael, 2004. Curso-Taller de Planeación Estratégica Ambiental Municipal. 2 y 3 de septiembre de 2004. Consultado en: http://jira.org.mx/index.php#. 24 febrero 2010

Graf, Sergio, Eduardo Santana, Luis Martínez, Salvador García y Juan J. Llamas, 2006. Iniciativa Intermunicipal para la Gestión de la Cuenca del Río Ayuquila. Consultado en internet: http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/cong_nal_06/tema_01/07_sergio_graf.pdf. 12 febrero 2010.

Graf, Sergio, Eduardo Santana, Arturo Pizano, Alonso Zamora, 2009. Gobernanza para el desarrollo territorial en el contexto de manejo de cuencas: el caso del Río Ayuquila. En Alternativas para una Nueva Gobernanza Ambiental: Intermunicipalidad y Desarrollo Territorial. pp19-36. Universidad de Guadalajara. Guadalajara.

INEGI, 2005. Cuéntame, Información por Entidad. Jalisco. Consultado en la página de internet: http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/poblacion/default.aspx?tema=me&e=14. 12 de febrero de 2010.

JIRA (Junta Intermunicipal del Río Ayuquila), 2009. Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión de la Cuenca Baja del Río Ayuquila. Consultado en internet en la página: http://jira.org.mx/index.php#. 4 diciembre 2009

Manejo Integral de los residuos sólidos en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Geóg. Verónica Durán Carmona[1]

Psic. Cristina Barrientos Durán[2]

Psic. José Luis Fabián Cruz[3]

Universidad Autónoma de la Ciudad de México UACM
Distrito Federal, México
mac_6840@yahoo.com.mx

Resumen

La Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) consciente de la problemática ambiental de nuestro entorno ha procurado implementar programas que hagan viables soluciones sociales. Para ello, entre sus programas ha implementado su programa de residuos sólidos y que tiene como objetivo principal, separar y reciclar los residuos que se generan en la institución; generando recursos propios para conformarlo como un proyecto sustentable. En diciembre del 2008 se instalan en los campus 200 módulos para depositar los desechos, con tres botes cada uno: verde - materia orgánica, amarillo – papel y azul –para el PET, aunado a ellos se colocó un recipiente gris para los desechos inorgánicos. Se han realizado diversas acciones de difusión a través de carteles como apoyo para invitar a la comunidad universitaria a participar en el programa, inaugurándose formalmente en febrero del 2009. Actualmente se desarrolla la segunda etapa que consta de impartir platicas y talleres de conocimiento para estudiantes y profesores con el fin de crear conciencia y sean participantes activos del programa.

De manera paralela se hace una recopilación de pilas el cual tiene un seguimiento metodológico en su clasificación, conteo y peso para su disposición final.

Palabras Clave – residuos sólidos, conducta pro-ambiental, reciclar, separación.

Abstract

The Autonomous University of Mexico City aware of environmental problems of our environment has sought to implement programs that make them viable social solutions. To do this in your programs has implemented its solid waste program that has as its primary objective, separate and recycle waste generated in the institution; generating their own resources to shape it as a sustainable project. In December 2008 are installed on the campus 200 modules for depositing waste, with three containers: container green - organic waste; container yellow paper and container blue for the PET, combined to them was placed a gray container for the inorganic waste. Trained the campus community to handling and disposal the separation of waste. Dissemination through posters like support to invite to participate formally in the program, being inaugurated in February of the 2009. At the moment the second stage is developed that consists to give talks and workshops of knowledge for students and professors with the purpose to create bringing back the consciousness and participates assets of the program. Parallel way a compilation of batteries and cells becomes which has a methodological monitoring in their classification, count and weight for disposal.

Keywords – solid waste, pro-environmental behavior, recycling, separation.

I. INTRODUCCIÓN

[1] Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Programa Ambiental. mac_6840@yahoo.com.mx

[2] Facultad de Psicología UNAM. cristina2902@gmail.com

[3] Facultad de Psicología, UNAM. jluisfab@hotmail.com

La concentración de residuos es un problema en sí mismo y trae consigo otra serie de agravantes ambientales como son la contaminación del agua a través de los lixiviados que se filtran al subsuelo; la contaminación del aire por la expulsión de grandes cantidades de metano a la atmósfera (lo que a su vez favorece el calentamiento global) y la degradación del suelo, entre otros. En virtud de estos problemas el gobierno federal a través del establecimiento de la "Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos (2003) y el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos 2009-2012 ([PNPGIR]-SEMARNAT, 2008) se plantea como objetivo un desarrollo más sustentable basado en cambios profundos en los modelos de producción, consumo y manejo de los residuos. Los objetivos principales de estos instrumentos son por un lado minimizar la generación y por el otro maximizar la valorización de los residuos sólidos urbanos y generar una cultura ambiental, promoviendo un manejo integral que involucre la puesta en práctica de acciones, procedimientos y medios para hacer la separación desde la fuente, la recolección separada y fomentar el uso y reciclaje para reducir el volumen de residuos enviados a los depósitos finales.

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003) los grandes generadores de residuos están obligados a contar con planes de manejo y los centros educativos, específicamente las instituciones de educación superior son importantes generadores por lo que están obligados a cumplir con esta norma, además de su papel para implementar y educar en torno a los principios de sustentabilidad.

La universidad se concibe a sí misma como una Universidad Sustentable y en virtud de ello el Programa Ambiental ha promovido diferentes acciones de conservación para la sustentabilidad, tales como el proyecto de "cosecha de agua de lluvia" donde se almacenan 300,000 mil litros de agua en 6 cisternas con capacidad de 25, 000 mil litros cada una, los otros 150,000 litros se recolectan en una cisterna de concreto que se utiliza para el consumo general del inmueble. Cuando ya rebosan las cisternas, éstas se conectan con un pozo de tormentas (absorción) el cual al su vez sirve para recargar el manto freático. Otro proyecto es la "creación de áreas verdes" a través de la aplicación de silos de agua (hidrogel), con el cual se mantienen a la fecha 630 árboles con 23 especies los cuales se riegan con las aguas residuales que se captan en el proyecto de cosecha de agua de lluvia, a su vez con la aplicación del hidrogel se han visto las bondades de este, en no utilizar demasiada agua para el desarrollo del arbolado, ya que ha obtenido un crecimiento por árbol de .80 cm a 1.10 cm por año, manifestando también que no son las mejores condiciones del suelo para su desarrollo. Se cuenta con una "estación meteorológica automática" donde se miden algunos parámetros meteorológicos. Se trabaja actualmente con el proyecto de riegos ambientales, específicamente "las grietas en la delegación Iztapalapa", las cuales son un serio problema no sólo en esta delegación sino a nivel D.F. y Estado de México. También se han impartido diplomados y cursos como el diplomado "Orientaciones recientes en el análisis y la planificación de sistemas socioecológicos complejos" impartido el año anterior.

De manera específica ha implementado un proyecto de manejo integral de residuos sólidos, (PMIRS) con el objetivo principal de que la comunidad universitaria separe los residuos sólidos desde la fuente de generación. Para ello, se instalan en los 5 campus un total de 200 módulos para depositar los desechos, donde cada uno consta de 4 contenedores, uno verde para materia orgánica, amarillo para papel, azul para plástico PET y uno más de color gris para los desechos inorgánicos.

El plantel San Lorenzo Tezonco es el plantel más extenso tanto en tamaño como en población, con una extensión de 23 hectáreas, con una matrícula de 5,960 estudiantes aproximadamente y 1,500 que entrarán el próximo semestre, además cuenta con 11 licenciaturas, razón por la cual se le ha considerado el espacio ideal para la

implementación y piloteo de diversos proyectos antes mencionados. En el caso específico del proyecto de manejo integral de residuos sólidos se han instalado un total de 81 módulos y se cuenta con 3 contenedores de recolección; este último depende en mayor medida de la participación de los universitarios para su adecuada ejecución.

Cabe mencionar, que el programa de residuos se puso en marcha en toda la infraestructura que conforma la universidad, consta de 200 módulos instalados en las 5 sedes y en edificios administrativos y 12 contenedores para el traslado de los residuos a un sitio de disposición final.

En los programas de separación la meta principal es el cambio en los patrones de disposición de los residuos y el mantenimiento de los nuevos patrones (Pieters, 1991). La teoría señala que una de las barreras internas que más influye para que los individuos no realicen acciones de cuidado del entorno es la falta de conocimiento (e.g. Schultz, Oskamp y Manieri, 1995; De Young, 2000, 1993; Vinning, Linn y Budge,1992; Young y Witter,1994), por lo para que para desarrollar esta conducta es necesario brindar información precisa en la cual se señale cómo, cuándo y qué acciones se deben llevar a cabo, dando a las personas razones convincentes y convenientes para llevarla a cabo.

Bajo esta premisa, se han desarrollado una serie de acciones de difusión e información, así como elaborado una serie de materiales para concientizar a la población acerca de la importancia de la separación de residuos y el cómo hacerlo de manera adecuada. A dichas acciones se les refiere como facilidades ya que se conciben como factores situacionales necesarios para la propiciar la participación de un individuo en una acción específica (Wall, Devine y Mill, 2005). En la búsqueda de sistematizar el trabajo y dar un seguimiento metódico al mismo, se considero pertinente por un lado el realizar una evaluación de las facilidades con que cuenta el plantel para el éxito del programa de sustentabilidad, específicamente la separación de residuos y, por el otro analizar el impacto de las mismas sobre los alumnos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

a) Inventario de facilidades.- El inventario estuvo constituido por una serie de preguntas que abordaban la presencia o ausencia de los siguientes elementos: material educativo en la institución; ubicación y características de los contenedores de residuos en los salones, pasillos, oficinas, cubículos y laboratorios; elementos de difusión; disponibilidad de contenedores finales para los residuos; información sobre las principales fuentes de generación y cantidad de residuos en el plantel.

b) Acciones ambientales y sustentabilidad: en la primera pregunta se evaluó si los alumnos sabían que la UACM llevaba a cabo un programa ambiental, posteriormente se les preguntó si conocían alguna (s) acción (es) ambientales desarrolladas en el plantel como parte de dicho programa; en caso de que contestaran que sí describieran cuáles; en cuanto a la separación de residuos, se les preguntó si consideraban que se llevaba a cabo adecuadamente la separación de residuos en el plantel San Lorenzo Tezonco, si habían leído los carteles, la manta y/o la exposición con información sobre la separación de residuos, a los que contestaban que sí se les pidió que señalaran algunos elementos que recordaran de los mismos.

Tipo de investigación: se realizó un estudio exploratorio y de campo (Kerlinger, 2002).

Muestra

El inventario de facilidades fue contestado por miembros del programa ambiental de la UACM y el cuestionario para evaluar la identifi-

cación de acciones ambientales y sustentabilidad se aplicó a 150 estudiantes de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, del Plantel San Lorenzo Tezonco (75 mujeres y 75 hombres) de entre 18 y 38 años de edad.

Procedimiento

Se entrevistó a dos elementos del personal del programa ambiental de la UACM para contestar las preguntas del inventario de facilidades, se realizó un recorrido y registro fotográfico.

La aplicación del cuestionario para evaluar la identificación de acciones ambientales y sustentabilidad se realizó de manera no intencional a 150 los alumnos en diversas áreas del plantel (pasillos, escaleras, jardineras), solicitándoles su apoyo; el tiempo aproximado de aplicación fue de 15 minutos. Los datos numéricos se analizaron mediante el paquete estadístico SPSS (versión 11) y se realizó un análisis de frecuencias a las preguntas abiertas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- *Facilidades para la ejecución de acciones sustentables.*

Las facilidades (factores situacionales necesarios para propiciar la participación de los individuos, [Wall, Devine y Mill, 2005]) reportadas y observadas se agruparon de la siguiente manera:

1. Fuentes de información: se buscó la existencia de diversas fuentes de información acerca de temáticas ambientales presentes en el plantel:

A. Libros y revistas: la biblioteca poseía una amplia diversidad de libros sobre temas relacionados con el medio ambiente, además de que el programa ambiental contaba también con un acervo de 112 libros, por lo que se puede afirmar que para los alumnos interesados se tiene una amplia gama de fuentes de información y que ésta es totalmente accesible.

B. Elementos de difusión: para la promoción de una adecuada separación de residuos se contaba con los siguientes elementos:

a) Carteles: un cartel elaborado por el programa ambiental distribuido en diferentes zonas del plantel, en el que se invitaba a la comunidad universitaria a separar los residuos y se les indicaba cómo hacerlo. Se consideró conveniente realizar adecuaciones al mismo ya que pudo observarse que se encontraba muy cargado de texto y poseía pocos elementos visuales (ver figura 1).



Figura 1. Cartel que promueve la informada participación de la comunidad universitaria

b) Manta informativa: se colocó una manta con información sobre cómo separar los diferentes tipos de residuos diseñada por el programa ambiental (ver figura 2).



Figura 2. Manta informativa

c) Exposición sobre residuos sólidos (SEMARNAT*)*: se colocó en el pasillo principal del plantel una exposición que constaba de 13 mantas en las cuales se abordaban diversos temas relacionados con los residuos sólidos (ver figura 3).



Figura 3. Exposición

2. *Infraestructura para la separación de residuos*: se analizaron los elementos de infraestructura presentes en el plantel San Lorenzo Tezonco que pudieran promover la correcta ejecución de la conducta de separación de residuos.

A. Módulos para residuos: 81 módulos cada uno constituido por cuatro contenedores pintados de diferente color según el tipo de residuo (verde, gris, amarillo y azul).



Figura 4. Módulos de separación

B. Contenedores temporales *para residuos*: en la planta baja de los edificios existían contenedores en los que se almacenaban de manera temporal los residuos para después llevarlos a la bodega.

C. Bodega: se almacenaba principalmente papel y cartón.

D. Depósito final de plástico PET: el personal operativo del programa construyó un depósito provisional de malla de metal, para colocar este tipo de residuos. (Ver figura 5).



Figura 5. Malla para almacenar plástico PET

- Identificación de acciones ambientales en el plantel

Se evalúo la identificación de acciones ambientales en el plantel.

El 59.3% de los estudiantes contestó que no conocía el programa de la universidad y el 40.7% sí lo conocía; al evaluarse el conocimiento las acciones realizadas como parte del programa ambiental, el 42% (n =74) de los alumnos señaló que sí conocía alguna acción y el 58% (n =76) no reconocían ninguna acción.

Al pedirles a los alumnos que reportaron si conocer alguna acción ambiental desarrollada en su plantel que la (s) describieran, fueron ocho las más identificadas. En la tabla 1 se observa que las tres principales acciones reportadas fueron la promoción de la separación de residuos (61%), la cosecha de agua de lluvia (16%) y la promoción de áreas verdes (14%).

Tabla 1. Acciones ambientales identificadas por los alumnos

	ACCIONES IDENTIFICADAS	TOTAL DE RESPUESTAS	%
1	Separación de residuos	45	61
2	Cosecha de agua de lluvia	12	16
3	Promoción de áreas verdes	10	14
4	Energía	2	3
5	Promoción de limpieza (zona de trolebuses)	2	3
6	Meteorológico	1	1
8	Cuidado del agua	1	1
	Total	73	100

Al preguntarse a los estudiantes si consideraban que se llevaba adecuadamente la separación de residuos en el plantel el 47.3% de los mismos consideró que sí se lleva a cabo de forma adecuada, mientras que el otro 52.7% contestó que no. En la figura 6 se ilustran las causas por las que los estudiantes consideraron que se llevaba a cabo de manera adecuada la separación, siendo las tres principales: la existencia de contenedores (59%), la información clara (13%) y la cooperación de la comunidad universitaria (10%).

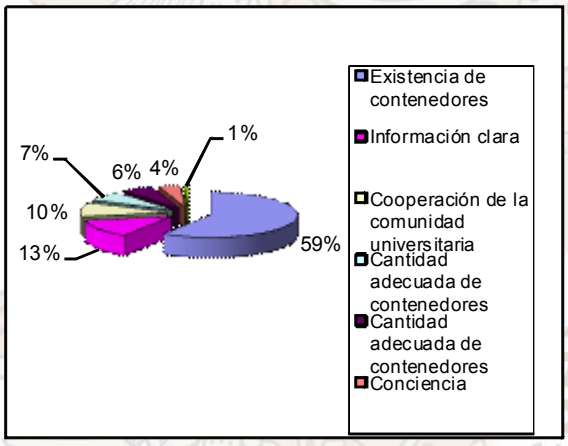


Figura 6. Causas de la adecuada separación de residuos en el plantel

Las tres principales causas por las que el 52.7% de los alumnos de la muestra consideró que no se llevaba a cabo eficazmente la separación fueron: el que los alumnos no separaban los residuos (24%), la falta de información (20%) y el que el personal de intendencia la revolvía (17%).

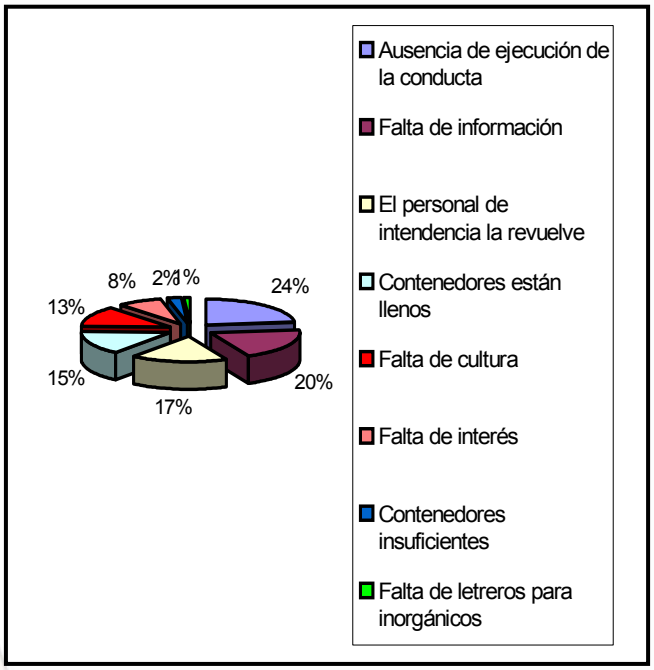


Figura 7. Razones por las que la separación de residuos en el plantel SLT es inadecuada

Al preguntarse a los estudiantes si habían leído los diversos elementos de información disponibles en el plantel para la promoción de la separación de residuos y su adecuada colocación se observó que el 56% reportó si haber leído los carteles, el 84.7% leyó la exposición sobre residuos colocada en el pasillo y el 80% aseguró haber leído la manta informativa (ver tabla 2).

Tabla 2. Porcentajes de lectura de los alumnos a los elementos de difusión de la separación de residuos

		FRECUENCIA	%
Carteles	No	84	56
	Si	66	44
	Total	150	100
Exposición sobre resi-	No	127	84.7
	Si	23	15.3

duos sólidos	Total	150	100
Manta informativa	No	120	80
	Si	30	20
	Total	150	100

Posteriormente, al preguntárseles a los estudiantes que reportaron que si habían leído los elementos que describieran el contenido que recordaran de cada uno se encontró que fueron trece los componentes más recordados del cartel, siendo los tres principales las imágenes de los contenedores (30%), la separación en orgánicos e inorgánicos (22%) y la importancia de la separación (9%) (Ver tabla 3).

Tabla 3. Elementos del cartel recordados por los alumnos

	ELEMENTOS DEL CARTEL	RESPUESTAS	%
1º	Imágenes de los contenedores (separación)	18	30
2º	Separación orgánicos/inorgánicos	13	22
3º	Importancia de la separación	5	9
4º	Reciclaje	4	7
5º	Instrumentos quirúrgicos	4	7
6º	Boletines	4	7
7º	"Deposita la basura en su lugar"	3	5
8º	Sustentabilidad	2	3
9º	Color verde	1	2
10º	Reutilización	1	2
11º	"No basta con tirarla, hay que separarla"	1	2
12º	"Juega tu mejor papel... recicla"	1	2
13º	"Se consciente, separa la basura"	1	2
	Total	58	100

En la exposición sobre residuos sólidos, siete fueron los elementos más recordados; en primer lugar la situación de la basura en el mundo (26%), seguida de el color de los contenedores (20%), la iimportancia de reciclar (19%), la llanta convertida en pavimento, qué son los residuos (7%), y las frases "¿te rehúsas a reusar?" (7%), "ddivide y vencerás" (7%), "dime qué consumes y te diré quién eres" (7%) (ver figura 4). El 20% de los alumnos reportó haber leído la manta informativa y al pedirles que señalaran los componentes recordados ninguno logro recordar algún elemento.

IV. CONCLUSIONES

- La Universidad Autónoma de la Ciudad de México preocupada por la situación ambiental actual y consciente de su papel como formadora de hábitos y valores ha realizado diversas acciones encaminadas a la sustentabilidad de su institución a través del programa ambiental.

- Sin embargo, se observó la necesidad de apoyar la difusión de sus proyectos y acciones para que estos tengan una mayor incidencia en la comunidad universitaria.

- El plantel San Lorenzo Tezonco de la cuenta con los elementos de difusión e infraestructura necesarios (facilidades) para realizar con éxito un programa de separación de residuos, por lo que se confirma como un adecuado centro piloto para las

acciones a desarrollar en todos los campus de la universidad.

- Si bien alrededor de la mitad de los alumnos identifican al programa ambiental y algunas de las acciones que este promueve se hace patente la necesidad de seguir realizando acciones de difusión que inviten a la comunidad universitaria a involucrarse de manera más activa en la promoción de la sustentabilidad en los planteles.

- Se observó que los estudiantes perciben una incongruencia con el uso de los facilitadores para la separación por parte de los usuarios y el personal de intendencia encargado de recuperar los residuos.

- Se sugiere entonces realizar una serie de estrategias de tipo psicosocial que le den congruencia a la relación de infraestructura para la separación y la acción especifica de separación por parte de los individuos que conforman la comunidad universitaria.

V. REFERENCIAS

De Young, R. (1993). Changing Behavior and Making Stick. The Conceptualization and Management of Conservation Behavior. *Environment & Behavior*, *25*, 485-505.

De Young, R. (2000). Expanding and Evaluating Motives for Environmentally Responsible Behavior. *Journal of Social Issues*, 56, 509-526.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003). Recuperada el 15 de mayor de http://www.culturaecologica.org.mx/documentos/1123076683_Ley_General_Residuos.pdf

Pieters, R. (1991). Changing garbage disposal patterns of consumers: motivation, ability and performance. *Journal of Public Policy & Marketing*, *10*, 56-76.

Schultz, P. W., Oskamp, S. & Mainieri, T. (1995). Who recycles and when? A review of personal and situational factors. *Journal of Environmental Psychology*,*15*, 105–121.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales ([SEMARNAT], 2008). Programa Nacional para la Prevención y Manejo Integral de los Residuos, 2009-2012. Recuperado el 15 de marzo de 2009 de, http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Publicacion/ SEMARNAT%20 Resumen%20Ejecutivo%2009.pdf

Vinning, J., Linn, N. & Budge, R. J. (1992). Why recycle? A comparison of recycling motivation in four communities. *Environmental Management*, *16*, 785-797.

Wall, R., Devine-Wright, P. & Mill, G. A. (2005). Psychological predictors in context. An empirical study of interactions between determinants of car use intentions. In B. Martens y A. G. Keul (eds.) *Designing social innovation. Planning, building, evaluating*. Göttingen, Germany: Hogrefe & Huber

MEJORA DE UN SISTEMA DE GESTION MUNICIPAL EN UNA CIUDAD FRONTERIZA: UN CASO DE ESTUDIO

Favela Ávila, Hugo; Ojeda Benítez, Sara;
Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California.
Mexicali, Baja California, México
email: hugfave@gmail.com, sara.ojeda.benitez@gmail.com

Resumen

El aumento de la producción y consumo de artículos por las demandas de un crecimiento urbano, provoca un aumento en la generación de residuos sólidos municipales (RSM). Una fracción de los RSM corresponde a los generados por actividades en hogares, los cuales tienen características muy particulares en su mezcla: es heterogénea y de gran volumen, además que posee un potencial de aprovechamiento. En este trabajo se desarrolla una propuesta de mejora al sistema actual de manejo de residuos sólidos domésticos (RSD) de la ciudad de Mexicali. Para realizarlo se dividió la ciudad por estratos socioeconómicos (bajo, medio y alto), para seleccionar los estratos de la ciudad se cruzó información censal de INEGI y del Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP), determinando una muestra representativa de viviendas de cada estrato. Se realizó un muestreo de RSD, para conocer la composición de RSD de la ciudad de Mexicali, así como su volumen, elementos necesarios para el desarrollo de un sistema de gestión, con esta información se realizó una propuesta de mejora al actual sistema de manejo de residuos en la ciudad de Mexicali. Es importante que los sistemas de gestión de residuos sean adecuados a las comunidades. Actualmente las autoridades de la ciudad de Mexicali enfrenta retos grandes en materia de residuos, por lo que es necesario implementar un sistema para evitar y reducir problemas de contaminación, malas prácticas de manejo y gastos públicos, por medio de la activación económica que el mercado de recuperación de materiales ofrece, generando oportunidades hacia al mercado de la sustentabilidad.

Palabras Clave – Residuos, generación, manejo de residuos, estrato socioeconómico.

Abstract

The increase of production and products consumption by demands of urban growth causes an increase in the generation of municipal solid waste (MSW). A fraction of MSW is generated by household's activities, which produces a mixture with particular characteristics: it is heterogeneous, has a great volume and has a potential usage. The objective is to offer an improvement for the actual management system of household solid waste (HSW) for Mexicali city. Therefore the city was divided in socioeconomic strata: low, medium and high, to select the city stratus, the information was collected from INEGI and the "Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP)", and a representative sample from households of each strata was selected. The size and the composition of this MSW was determined, this information is necessary for the development of a management system and improve the city solid waste management system. So that the waste management system is appropriate for the communities. These days the Mexicali city authorities face challenges about MSW, therefore it is required to implement a system for the prevention and reduction of pollution problems, of poor management practices and public expenditures through economic activation, of market offers, material recovery and creation of opportunities for market sustainability

Keywords – Waste, generation, waste management, socioeconomic strata.

I. INTRODUCCION

Entre los factores que han contribuido al aumento de la generación de residuos se encuentran: el incremento de la industrialización, aumento en el número de productos y servicios que se ofrecen, así como el crecimiento económico y la modificación de los patrones de consumo (Gómez *et al., 2008 y Sharholy et al., 2007*). En un estudio realizado por Salholfer *et al., 2008,* se

encontró que en las últimas tres décadas, el aumento en la generación de residuos continúa, y que muchas comunidades están enfrentando cambios en la generación de sus residuos debido al crecimiento de la población y cambios en sus hábitos de consumo. En este sentido un estudio realizado por Ibáñez y Alarcón 2007, indican que el municipio de Mexicali, poco a poco ha pasado de ser una comunidad donde su principal fuente de economía era la agricultura, a una comunidad industrializada con incrementos en la demanda de servicios y productos, esto ha provocado un aumento en la generación de residuos sólidos debido al crecimiento de la ciudad y al efecto migratorio que se ha suscitado en el país. Rojas y Corona 2008, mencionan que las ciudades ubicadas sobre la franja fronteriza con los Estados Unidos de América, poseen los datos de generación de residuos más altos, llegando hasta 1.048 Kg. /per cápita por día, mientras que los datos de generación en el sureste mexicano son de 0.697 Kg. /per cápita por día, según reportes del año 2005.

Para un manejo adecuado de los residuos sólidos, es necesaria la implementación de infraestructura adecuada como: construcciones e instalaciones de maquinaria basadas en un plan de manejo sustentable. Huang *et al. 1997, Brockreis y Stenbeirg 2005*, concuerdan que los sistemas en los rellenos deben consistir en infraestructura bien diseñada para obtener beneficios económicos y ambientales, como puede ser la operación de descomposición de materia orgánica para la producción de biogás, el cual; recuperado, es utilizado para la generación de electricidad y calor, municipios con una visión más progresiva, han buscado diferentes formas de aprovechar de una manera no tradicional la recolección de residuos sólidos municipales. En Latinoamérica, donde los servicios municipales de recolección de residuos no han tenido un avance muy notorio en conjunto con el crecimiento urbano, el llamado sector informal (recolección manual por pepenadores), se ha utilizado como una herramienta muy importante, dando un servicio a diversas áreas, los gobiernos municipales en Latinoamérica están respondiendo a los problemas de residuos sólidos donde la recolección manual es su principal alternativa (Ojeda *et al., 2002*).

Es importante la generación de nuevas ideas sobre las alternativas de recuperación, debido a que el daño ambiental provoca problemas sociales, culturales y económicos. A través del tiempo, el crecimiento acelerado en la ciudad de Mexicali, y el cambio en los hábitos de consumo de sus habitantes, ha propiciado un incremento en la generación de residuos; aumentando los volúmenes de generación, y promoviendo una disposición inadecuada, esto se refleja en los montones de basura acumulada en terrenos baldíos, esquinas, callejones, parques, etc., desencadenando una serie de problemas ambientales, sociales y económicos (Ojeda *et al., 2003*).

Además el desarrollo de una ciudad, genera cambios importantes en sus necesidades, por lo cual el aumento en la generación de residuos sólidos es inminente, para ello es necesario desarrollar un sistema de manejo eficiente con el fin de desviar residuos que se podrían destinar a otro tipo de actividad antes de que lleguen al confinamiento final, para reducir y aprovechar los materiales de desecho con potencial de recuperación, así como, reducir las áreas de confinamiento, y dar un mejor uso a las áreas ya existentes.

II. MATERIALES Y METODOS

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Mexicali Baja California, cabecera del municipio con el mismo nombre con una superficie de 13,936 km^2 y 14 delegaciones, con 855,962 habitantes de los cuales, la ciudad cuenta con 653,046 residentes (figura 1), y el resto pertenece al valle según el Instituto Nacional de estadística y Geografía (INEGI).

La distribución desigual de la población que presenta este municipio provoca una diseminación en la disposición de los residuos, aumentando con ello el número de tiraderos o basureros de tipo clandestino.

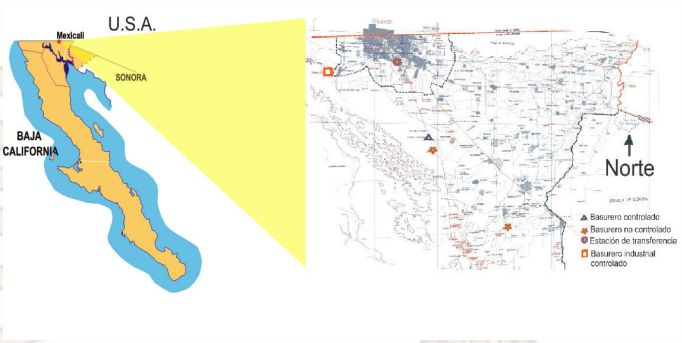


Figura 1. Posición geográfica de Mexicali B. C.

2.1 Estratificación de la ciudad para el estudio de generación de residuos

Mexicali por sus coordenadas geográficas presenta un clima cálido-seco con muy poca precipitación anual. Alcanza temperaturas desde -5°C en el invierno; incluso con heladas, hasta 50°C a la sombra en el verano.

Este trabajo se llevo a cabo en dos etapas, en la primera se realizó una división de la ciudad de Mexicali en tres estratos socioeconómicos (bajo, medio y alto), para observar el comportamiento de generación en cada uno de ellos, y en la segunda etapa se trabajó en campo en una caracterización y clasificación de residuos sólidos domiciliarios (RSD), por medio de tres muestreos del tipo estacional; con esto se obtuvo información de los RSD generados en cada estrato por la actividad diaria de la ciudad, y se observaron las diferencias que se presentan en tres estaciones del año (Primavera, Verano e Invierno).

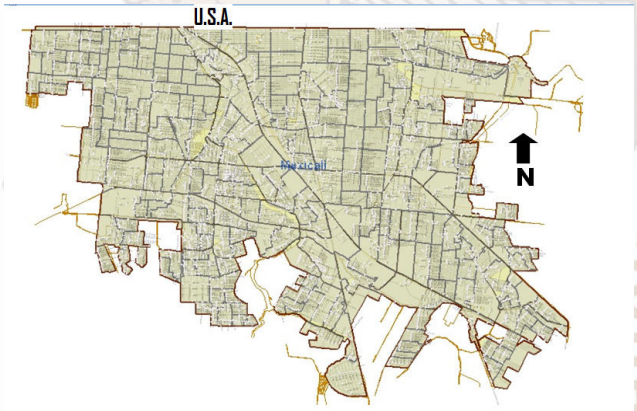


Figura 2. División en AGEB's de Mexicali. (Fuente: IRIS-Science 2005)

Con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), quién maneja una base de datos por medio de un software (IRIS-Science 2005), en donde este divide a la ciudad en diferentes áreas geoestadística básicas (AGEB´s) (Figura 2), numerados en orden consecutivo y con información global de cada una, se realizó un cruce de información entre AGEB´s, y el mapa de tipología de vivienda de IMIP, y así, se obtuvo información de la ciudad de Mexicali, con el fin de calcular una muestra representativa.

Para determinar la muestra, se trabajó con tres estratos socioeconómicos (bajo, medio y alto). La muestra que se seleccionó fue representativa de la ciudad de Mexicali, y para ello se tomaron los siguientes datos de cada AGEB:

- ☑ Número de Habitantes.
- ☑ Número de Viviendas.
- ☑ Número de identificación.

Con la información seleccionada de cada AGEB, se obtuvieron los datos de cada colonia y se calculó el tamaño de muestra, ver ecuación 1.

$$n = \frac{NK^2}{N\beta^2 + K^2} \quad \text{(Ec. 1)}$$

Donde:
n= Tamaño de Muestra.
N= Tamaño de la población.
K= Nivel de confianza al 95% (K=1.96)
β= Fracción de la desviación estándar o del coeficiente de variación poblacional, que se desea como la precisión del estimador (β=0.05)

Se calculó la muestra de viviendas para cada estrato socioeconómico (tabla 1). Después del cálculo de la muestra se seleccionó una colonia por estrato socioeconómico buscando que fuera lo más homogéneo posible, y que existiera una ruta que le diera el servicio de recolección.

Para seleccionar las colonias que representaran cada estrato, fue necesario que la colonia tuviera las siguientes características:

- Poseer una ruta de recolección de RSD.

- Pertenecer al estrato socioeconómico a estudiar.
- Ser homogénea (Viviendas del mismo tipo).
- Que incluyera la cantidad de viviendas necesarias para la muestra.

En la tabla 1 se muestra el número de viviendas (n), que se seleccionaron para muestrear, y que el estudio fuera representativo, así como el nombre de algunas colonias de la ciudad, que están dentro del estrato a analizar.

Tabla 1. Número de viviendas a muestrear

Estrato	n	Colonias probables a muestreo	Número de viviendas
Alto	1262	Col. Nueva	1693
		Los pinos	498
		Chapultepec Los Pinos	528
		Jardines del Valle	
		Villafontana	995
Medio	1520	Col. Independencia	4165
		Col. Esperanza Loma Linda Frac. Orizaba (comparten AGEB´s)	2887
		Pueblo Nuevo	1332
		Pro hogar	1652
Bajo	1465	El Roble	436
		La Robledo	2042
		El Ciprés	994
		Los Encinos	241
		Col. Rivera Campestre	881
		-Frac. Misión del ángel -Frac. Jardines Calafia (comparten AGEB´s)	465

Para determinar las colonias a muestrear se analizó el programa de rutas de recolección del sistema de limpia municipal, para identificar las colonias que fueran representativas del estrato, y que las rutas no fueran compartidas con colonias de estrato diferente.

En la tabla 2 se muestran las colonias por estrato, y las rutas de recolección de RSD correspondiente, así como las colonias que se eliminaron de la ruta, debido a que no se incluyeron en el estrato.

Tabla 2. Colonias y rutas de recolección de RSD elegidas para el muestreo

Estrato Alto	Ruta	Eliminar	Días de Recolección
Los Pinos y Chap. Los pinos	25-A	La escondida, esteban Cantú, Justo Sierra	Lunes y Jueves
Jardines del valle	30-A	Santa Teresa	Lunes y Jueves
Col. Nueva	32-A	Ninguna	Lunes y Jueves
Estrato Medio	**Ruta**	**Eliminar**	**Días de Recolección**
Col. Pro hogar	27-A	Ninguna	Lunes y Jueves
	28-A	Ninguna	Lunes y Jueves
	33-A	Ninguna	Lunes y Jueves
	34-A	Ninguna	Lunes y Jueves
Estrato Bajo	**Ruta**	**Eliminar**	**Días de Recolección**
La Robledo	6-C	Ninguna	Miércoles y Sábado
	16-C	Ninguna	Miércoles y Sábado
	32-C	Ninguna	Miércoles y Sábado

2.2 Clasificación de RSD

Para conocer la composición y peso de los RSD, se realizó un trabajo de clasificación y cuantificación de RSD en el centro de transferencia de la ciudad de Mexicali, tomando como unidad de análisis el camión recolector de cada estrato, representando a la colonia y estrato seleccionado, muestreando los RSD de un día de recolección de los dos que están asignados a cada colonia.

Para conocer el total de residuos recolectados, se pesó el camión al llegar al centro de transferencia, y después de dejar la muestra para su caracterización, para obtener el peso neto de la carga de RSD que contenía el camión en ese momento. Una vez dejados los residuos recolectados por los camiones de cada ruta, los residuos fueron tratados tomando como referencia el método de cuarteo descrito en la norma NMX-AA-015-1985. Para realizar la clasificación se aplicó la norma NMX-AA-022-1985.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados del estudio se presentan a continuación en base a un análisis descriptivo de las muestras analizadas bajo la metodología elaborada para esta investigación. Se generó una serie de gráficos con los resultados obtenidos, con las cuales se determinaron composiciones por estrato socioeconómico. Los resultados se presentan para cada estrato socioeconómico de tres estaciones del año (invierno, primavera y verano) de RSD generados en casas habitación.

3.1 Cuantificación de los residuos sólidos domiciliarios

Los resultados de los muestreos realizados en las temporadas de invierno, primavera y verano en el centro de transferencia de la ciudad de Mexicali, donde se clasificaron RSD para los tres estratos socioeconómicos, son presentados en las figuras 3 a la 5.

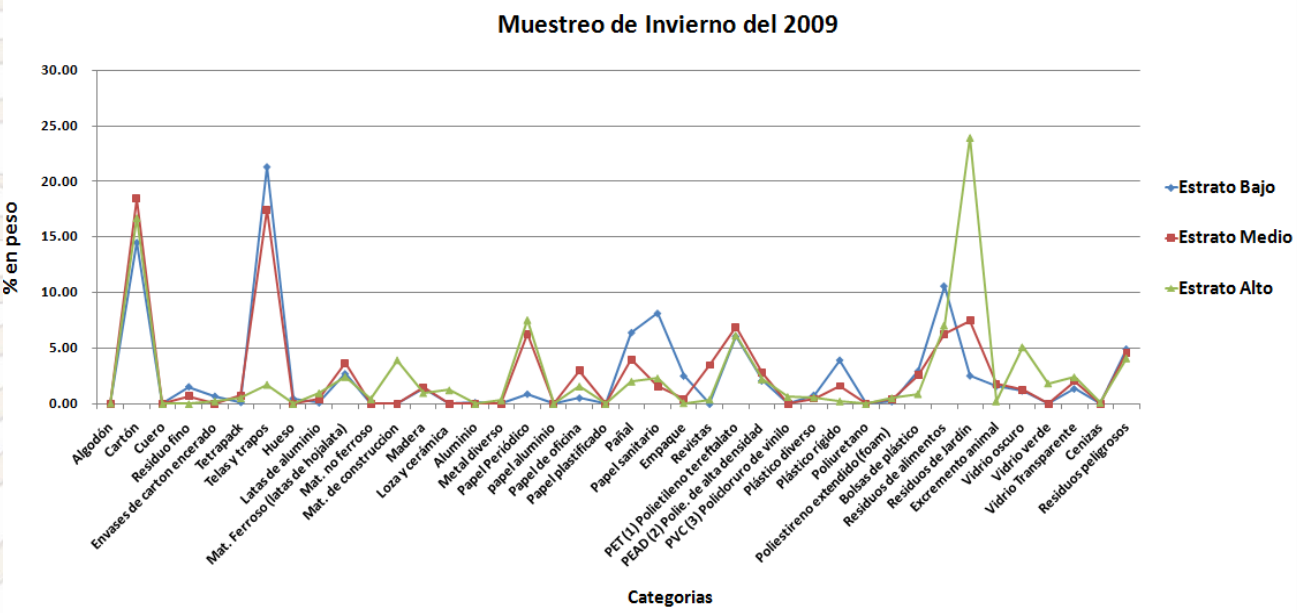


Figura 3. Comparación entre los tres estratos socioeconómicos en invierno

En la figura 3 se observa que en el muestreo de invierno existió una variabilidad RSD, ya algunas categorías que salen del promedio mostrando una generación más elevada con respecto a otras categorías, entre ellas están el cartón, telas y trapos, latas de hojalata, PET, papel periódico, residuos de jardín y residuos de alimentos.

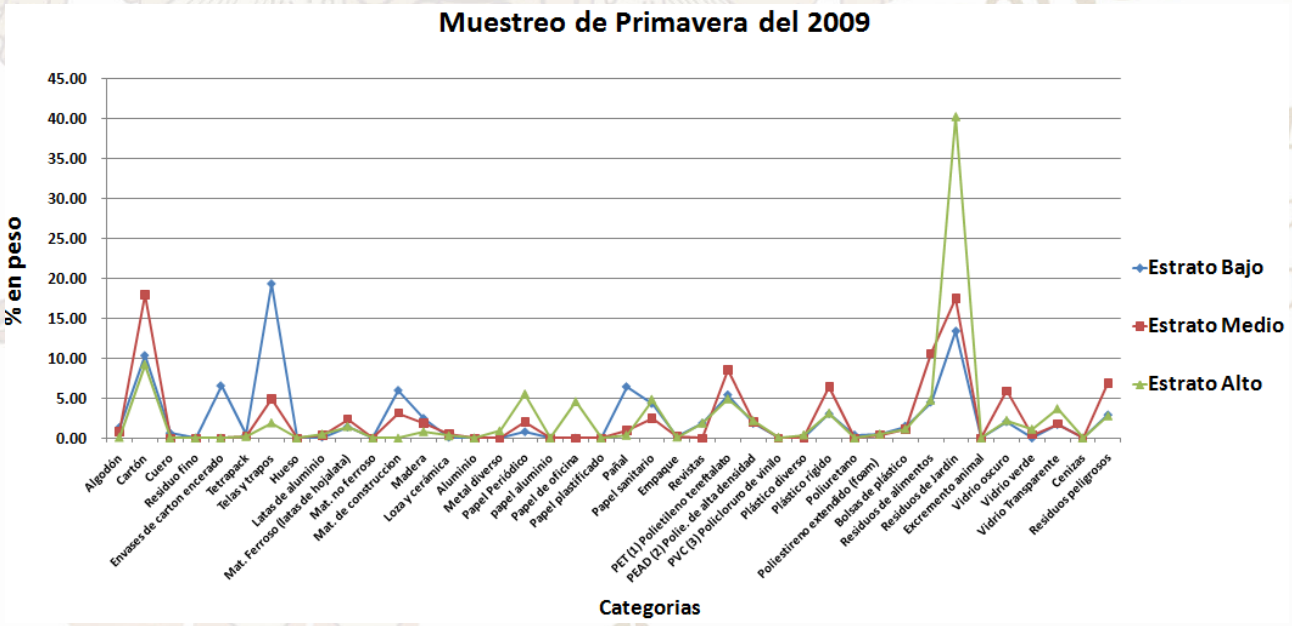


Figura 4. Comparación entre los tres estratos socioeconómicos en primavera

Las categorías con generación más alta en el muestreo de primavera (figura 4) fueron: cartón, telas y trapos, papel periódico, PET, residuos de jardín y residuos de alimentos.

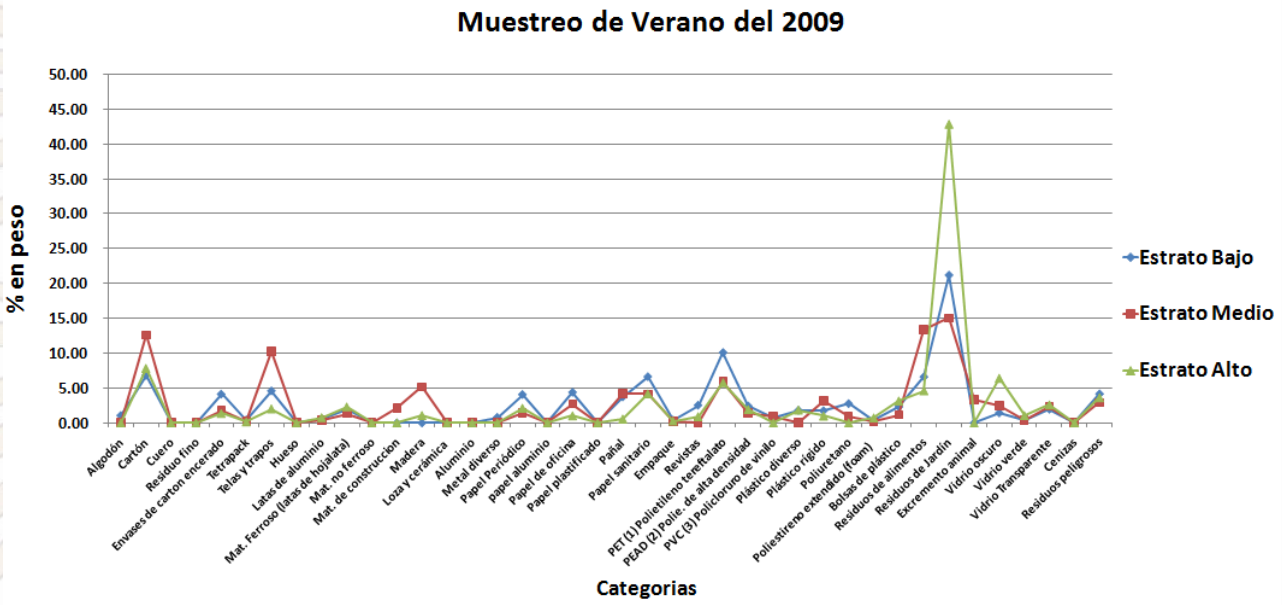


Figura 5. Comparación entre los tres estratos socioeconómicos en verano

Los resultados del análisis de muestreo de verano se muestran en la figura 5, se presenta el patrón de cada estrato y se visualiza gráficamente que categorías como el cartón, telas y trapos, papel sanitario, PET, residuos de jardín y residuos de alimentos, sobresalen en generación del resto de los residuos.

Además se realizó el cálculo de la generación per cápita en la ciudad de Mexicali obteniendo como resultados los datos de la tabla 3.

Tabla 3. Información sobre la generación promedio por estrato socioeconómico

Estación	Estrato	Basura promedio generada por estrato por día (kilogramos) (G)	Viviendas conteo visual (Z)	Basura generada por vivienda por día (kilogramos) M=(G/Z)	Habitante promedio por vivienda (Q)	Generación per cápita promedio por habitante por día (kilogramos/habitante) P=(M)/(Q)
Invierno	Alto	5,663.75	1,663	3.40	3.63	0.936
	Medio	7,630.33	2,129	3.58	3.86	0.928
	Bajo	5,516.25	2,204	2.50	4.22	0.592
Primavera	Alto	5,321.25	1,663	3.19	3.63	0.8787
	Medio	7,198.33	2,129	3.38	3.86	0.875
	Bajo	4,477.5	2,204	2.03	4.22	0.481
Verano	Alto	6,706.25	1,663	4.03	3.63	1.110
	Medio	7,168.33	2,129	3.36	3.86	0.870
	Bajo	5,047.5	2,204	2.29	4.22	0.542

Según este análisis el estrato que más genera es el alto con un promedio de .974 kg/hab., seguido por el medio .891 kg/hab, y la menor generación se presenta en el estrato bajo .538 kg/hab., lo que muestra que el estrato con mayor poder adquisitivo es el que desecha más materiales por habitante.

3.2 Sistema de Manejo de Residuos Sólidos Domiciliarios para Mexicali

El municipio de Mexicali actualmente cuenta con un sistema incompleto en materia de manejo y tratamiento de residuos, orientado solo a la recolección, traslado y disposición final de residuos, con una ligera intervención del trabajo informal de personas, en la búsqueda de materiales con valor en el mercado.

El marco legal en materia de residuos en México establece desde la Constitución Política Mexicana, que la responsabilidad de los municipios en México como autoridades locales, es contar con la facultad de aprobar de acuerdo con las leyes en la materia, así como de organizar la administración pública municipal, procedimientos, funciones y servicios públicos de su competencia, asegurando la participación ciudadana y vecinal.

3.3 Situación actual de los RSD en Mexicali

El manejo actual de los RSD en Mexicali se presenta en la figura 6.

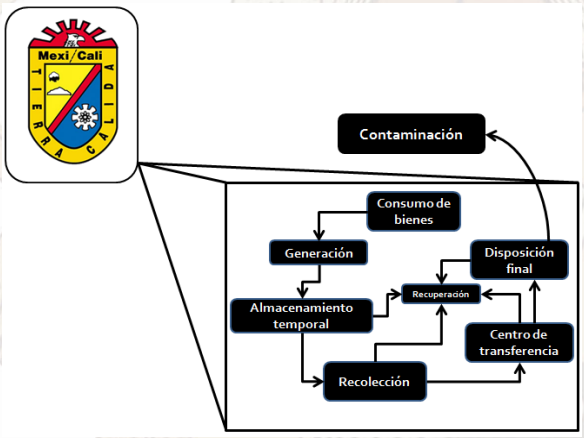


Figura 6. Manejo actual de los residuos sólidos en Mexicali

La autoridad municipal sólo realiza el trabajo de recolección, traslado y disposición final de los RSD de la ciudad de Mexicali, dejando eslabones abiertos dentro de un sistema completo de manejo de residuos. En Mexicali se tiene un sistema de recolección regular que da servicio a cada colonia de la ciudad dos veces por semana, después de los recorridos de las rutas de recolección que el municipio tiene identificadas según sus necesidades, estos RSD son llevados al centro de transferencia de la ciudad de Mexicali en donde sin ningún tratamiento sólo son dispuestos en camiones de mayor capacidad, para ser llevados al sitio de disposición final a las afueras de la ciudad. Esta práctica posee algunas interrupciones de recuperación de ciertos materiales por personas dedicadas a la recuperación informal comúnmente llamados "pepenadores".

La necesidad de inversión económica es un hecho, pero la integración de ciertas acciones que permitan la recuperación, pueden incentivar por medio de la colocación de materiales que tienen valor en el mercado actual, pudiendo obtener beneficios económicos para el departamento encargado de la limpia.

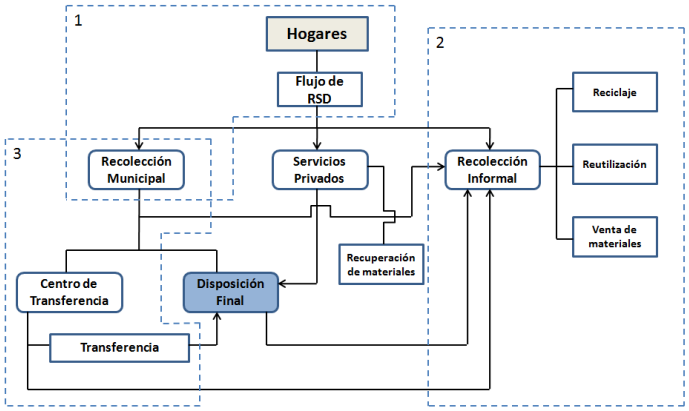


Figura 7. Cadenas de formación del actual manejo de los RSD en Mexicali

La figura 7 muestra un sistema dividido en tres bloques, en donde el primer bloque contempla el trabajo de recolección por medio de vehículos recolectores del municipio de Mexicali como parte de sus responsabilidades, un segundo bloque donde se presenta la recolección informal por parte de pepenadores en diversos niveles del sistema, los cuales realizan un trabajo de recuperación de ciertos tipos de materiales con valor en el mercado, activando la economía en el rubro de recuperación de residuos. Y un tercero donde se realiza un trabajo de transferencia por el municipio.

3.4 Estrategias para mejorar el sistema actual de RSD en Mexicali

Existen estrategias que pueden ser aplicadas para el mejoramiento actual de la situación de los RSD en Mexicali, donde la integración de la so-

ciedad en conjunto con el gobierno municipal, puede ayudar a la búsqueda del control, manejo tratamiento adecuado de los residuos, tratando de cerrar eslabones que permanecen abiertos, algunos métodos que se pueden tomar en cuenta son:

- Selección en origen
- Vertido controlado sin trituración
- Vertido controlado con trituración
- Compostaje (fermentación lenta o acelerada)
- Reciclaje
- Incineración sin recuperación de energía
- Incineración con recuperación de energía

La elección de un sistema adecuado, es en función de las cantidades de RSD generados así como sus características, distancias de transporte y/o transferencia, mercado de subproductos y/o energía, impacto ambiental, criterios económicos, respuesta social, inversión y costos de explotación. Algunas posibles operaciones de manejo de RSD se presentan en la figura 8.

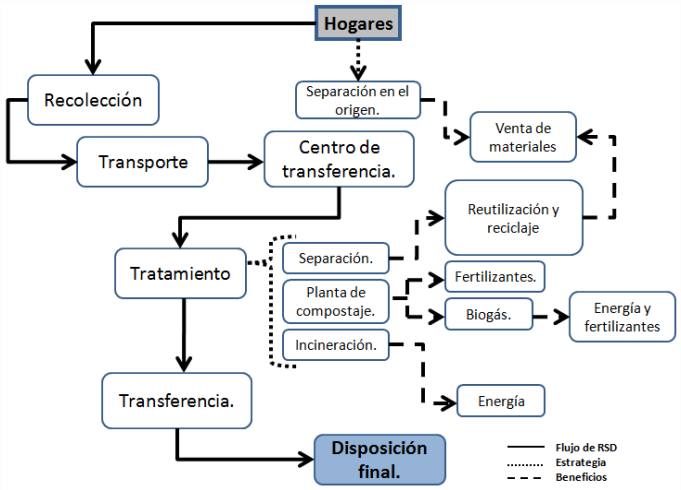


Figura 8. Posibles operaciones para los RSD

La figura 9 muestra una estructura de posibles estrategias que pueden beneficiar a un sistema integrado, aunque estos cambios pueden generar mayores responsabilidades por el aumento de actividades dentro del sistema, pero también puede traer una derrama económica.

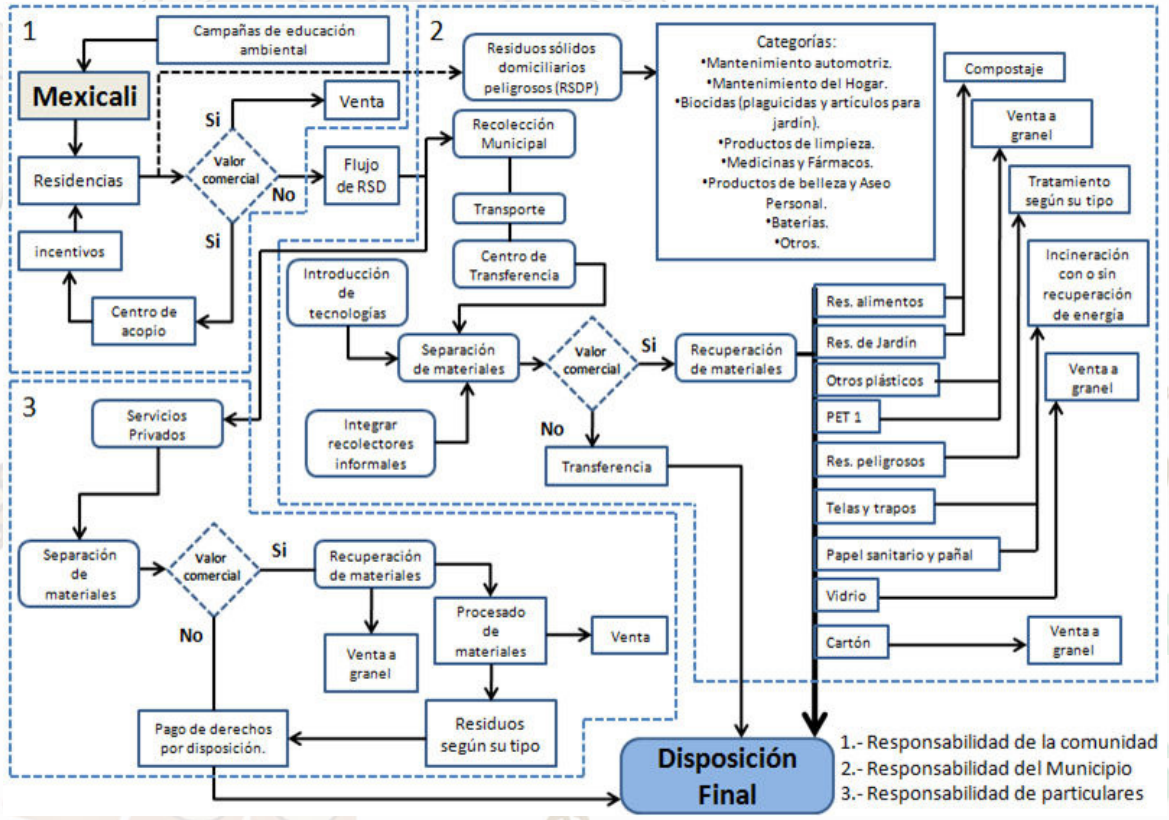


Figura 9. Sistema de manejo de RSD para la ciudad de Mexicali

En la figura 10 se presenta un sistema de manejo de RSD para Mexicali, para su aplicación a largo plazo, el cual está dividido en tres bloques diferentes contemplando las diversas responsabilidades resumidas en: las responsabilidades de la comunidad, las responsabilidades del municipio en materia de residuos y, la responsabilidad de los particulares y empresas dedicadas al giro de traslado y manejo de RSD.

La responsabilidad de la comunidad es una parte muy relevante, ya que el manejo adecuado desde la fuente por medio de la minimización, lleva a la posible disminución de operaciones unitarias de selección, aportando tanto la reducción de gastos de recursos financieros, como la concientización social por la realización de actividades de impacto medio ambiental.

Por lo tanto en la minimización se puede considerar algunos niveles de actuación como:

- La **reducción** en el origen de la generación de RSD por medio de la adopción de buenas prácticas de manejo.
- El **reciclaje** de los RSD, es decir, su utilización como materia prima en los en otras en el mismo hogar como la materia orgánica en jardines.
- La **recuperación** de materiales para su aprovecha. miento total, como insumos para otros giros.

La responsabilidad de los particulares y empresas dedicadas al giro de traslado y manejo de RSD en Mexicali, que dan un servicio de recolección y traslado de residuos a fraccionamientos residenciales de reciente creación, operando unidades de recolección con rutas trazadas según sus intereses, teniendo de alguna manera un impacto positivo al medio ambiente y al movimiento económico de materiales recuperados (ver figura 10).

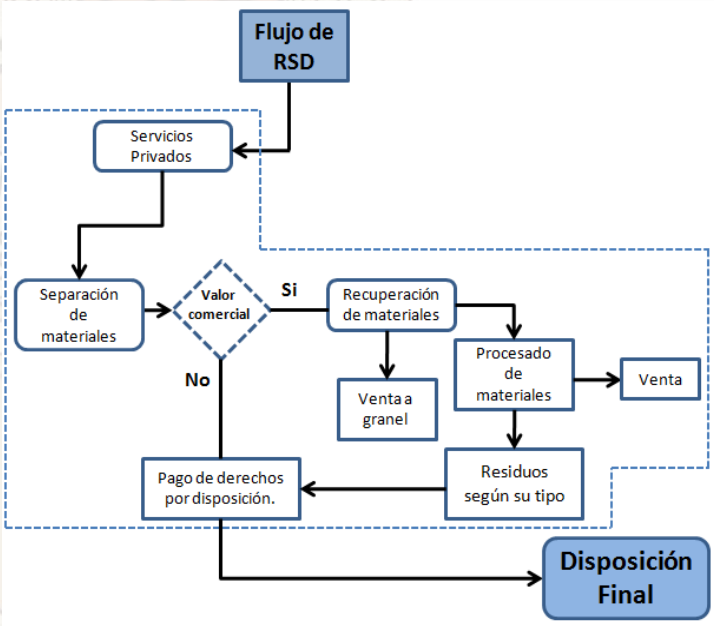


Figura 10. Recuperación de materiales por la recolección de RSD por particulares.

La responsabilidades del municipio en materia de residuos cuando la legislación indica en la Ley de Prevención y Gestión Integral de los Residuos para el estado de Baja California (LGPGIRBC), que las responsabilidades de los municipios con el estado son desarrollar programas municipales para la gestión integral de residuos sólidos de tipo doméstico, es decir aquellos generados en casa, en el cual se establecerán los objetivos y estrategias necesarias para el logro de los objetivos de la ley en materia. Con esto se es-

tablece las responsabilidades del municipio para el manejo adecuado de los RSD.

La figura 12 presenta las algunas alternativas que el municipio pudiera utilizar para el tratamiento de sus RSD. La recuperación de los materiales como: residuos orgánicos, residuos inorgánicos, plásticos, vidrio y cartón puede tener un impacto positivo, ya que al aplicarles algún tipo de tecnología o técnicas operaciones unitarias como: incineración, compostaje, o solamente la venta de material al granel de estos materiales a empresas dedicadas al reciclaje puede traer consigo beneficios tanto económicos, ambientales y sociales al promover buenas prácticas de manejo desde su generación en el hogar

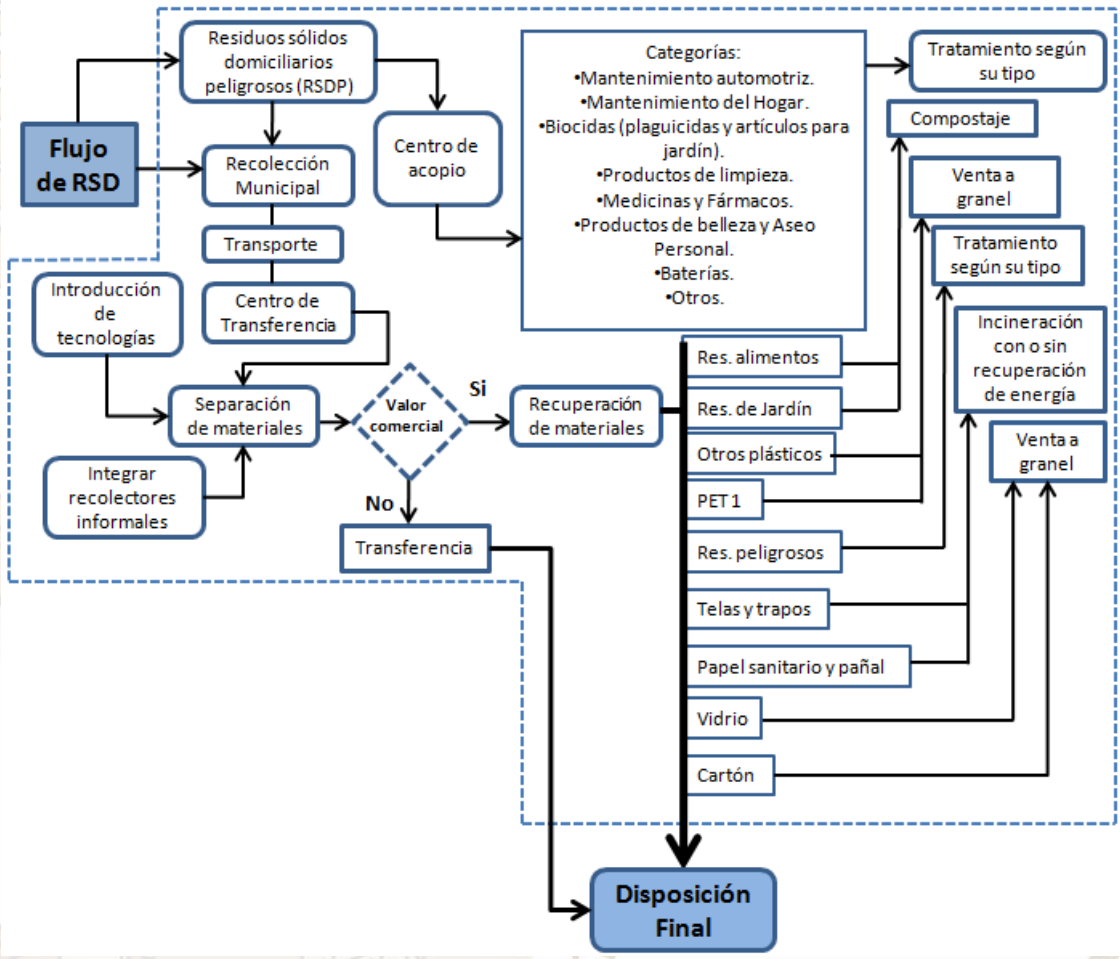


Figura 12. Recuperación de materiales a partir de la recolección de RSD del municipio de Mexicali

IV. CONCLUSIONES

En una ciudad como Mexicali, existe la necesidad de reducir la cantidad de RSD generados cada día por su población, ya que los volúmenes que se generan, son una amenaza para la salud pública y medio ambiente que nos rodea, además los gastos que implican la recolección, traslado y disposición de estos, realizada cada día por el departamento de limpia del gobierno municipal, provoca una gran pérdida económica, ya que al no contar con un buen control de los RSD a través de un sistema de manejo diseñado para satisfacer las necesidades de la población, no existe el aprovechamiento de materiales que se des-

echan, y tienen como destino final el entierro, y olvido de estos en el actual relleno sanitario. Esto provoca que una gran cantidad de materiales lleguen a lugares no adecuados, provocando problemas que repercuten en la misma sociedad que genera tanto en el ámbito económico, riesgos a la salud, riesgos por contaminación, disminución en la calidad de los recursos y el no asegurar recursos para generaciones futuras rompiendo todos los esquemas de un trabajo sustentable.

Por ello es importante crear programas de trabajo, donde se incluyan los diversos estratos socioeconómicos que conforman a la ciudad, ya que el problema de los RSD no exenta a nadie, así mismo la responsabilidad es compartida tanto del gobierno municipal y los ciudadanos, buscar el aseguramiento de los recursos naturales existentes en la zona, ya que los hábitos de consumo y el alcance de la población a adquirir artículos usados en el extranjero, genera problemas en la variabilidad y generación de RSD, y estos problemas se reflejan en el aumento de la generación per cápita al adquirir artículos que tienen un periodo de vida más corto, por lo que estos artículos van más rápido a disposición final.

V. RECONOCIMIENTOS

- Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la elaboración de esta investigación.
- A la Universidad Autónoma de Baja California por el espacio otorgado para la realización de esta investigación en especial al Instituto de Ingeniería.
- Dra. Sara Ojeda Benítez por su apoyo e instrucción en el desarrollo de esta investigación.

VI. REFERENCIAS

1. Gómez G., Meneses M., Ballinas L., Castells F., 2008, Characterization of urban solid waste in Chihuahua, Mexico, pp. 1-7.
2. Huang G. H., Baetz B. W., Patry G. G., Terluk V., 1997, Capacity planning for an integrated waste management system under uncertainty: a North American case study, 15, pp. 523-546.
3. Ibáñez Z. E., Alarcón R., 2006. Envejecimiento y Migración en Baja California, pp. 93-125.
4. Instituto municipal de Investigación y Planeación (IMIP), website, http://imipmexicali.org/
5. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI), website, http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx.
6. Ojeda B. S., Armijo de V. C., Ramírez B. E. 2002, Formal and informal recovery of recyclables in Mexicali, Mexico: handling alternatives. Resources, conservation and recycling, pp. 273-287.
7. Ojeda B. S., Beraud L. J. L., 2003, The municipal solid waste cycle in México: final disposal, pp. 239-250.
8. Rojas C. R. I., Corona Z. E. A., 2008, Urban observatories opportunities for environmental monitoring: Solid wastes, 28, pp. S40-S44.
9. Salholfer S., Obersteiner G., Schneider F., Lebersorger S., 2008, Potentials for the prevention of municipal solid waste, pp. 245-259.
10. Salholfer S., Gudrun Wassermann, Erwin Binner, 2007, Strategic environmental assessment as an approach to assess waste management systems. Experiences from an Austrian case study, Environmental Modelling & Software, vol. 22, pp. 610-618.
11. Secretaria del Medio ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), website, http://www.semarnat.gob.mx/Pages/inicio.aspx
12. Sharholy M., Ahmad K., Basilla R. C., Gupta R. D. 2007, Municipal solid waste characteristics and management in Allahabad, India. Science Direct, 27, pp. 490-496.

Participación-Acción en la separación selectiva de los residuos sólidos urbanos

Claudia E. Saldaña Durán; Susana Marceleño,
Universidad Autónoma de Nayarit
Tepic, Nayarit, México
cesduran@nayar.uan.mx; cesduran59@yahoo.com.mx

Resumen

La participación profundiza en la democracia y facilita la articulación social. Se trata de asumir que la fragmentación y dialéctica social pueden posibilitar el cambio si se abordan desde un planteamiento complejo y dinámico de las relaciones sociales y la construcción colectiva de propuestas innovadoras. Las metodologías participativas, como herramientas del trabajo profesional en el ámbito micro-local, como un barrio, colonia, AGEB, localidad o municipio, pueden contribuir a alcanzar el "objetivo último" de integración comunitaria, cohesión y transformación social. La participación ciudadana es un medio para mejorar la calidad de vida. El trabajo de investigación consiste en analizar las formas sociales de interacción y la cultura de la participación con el objeto de promover la generación de la conciencia ambiental y participación ciudadana, aplicando la acción directa en la separación selectiva de los residuos sólidos urbanos para el reciclaje de los materiales. Además de fortalecer conductas que generen la cohesión grupal, el arraigo espacial y la identidad del grupo en pro de un desarrollo sustentable hacia el interior de su comunidad. La investigación posibilitara la implementación de un modelo de manejo integral de los residuos sólidos urbanos tomando como zona de estudio en el AGEB 190-9 en la ciudad de Tepic, en Nayarit.

Palabras clave: participación acción, comunidad, residuos sólidos urbanos, separación selectiva.

Abstract

Participation deepens democracy and facilitates the social coordination. It is assumed that the fragmentation and social dialectic can make change possible if approached from a complex and dynamic approach of social relations and collective construction of innovated proposals. Participatory methodologies as complementary tools of professional work in the field micro-local, neighborhoods, districts, AGEB, location or municipal can help to achieve the "ultimate goal" of communitarian integration, cohesion, and social transformation. Citizen participation is a mean to improve the quality of life. The research work is to analyze the social forms of interaction and culture of participation in order to promote the generation of environmental awareness and participation, using direct action in the selective separation, municipal solid waste for recycling materials. Besides the strengthening behaviors that generate group cohesion, spatial rootedness and identity of the group towards a sustainable development within community. Research enables effective implementation of a model of integrated management of municipal solid waste using as AGEB 190-9 area of study, in the city of Tepic, Nayarit.

Keywords: action participation, community, municipal solid waste, selective separation.

I. INTRODUCCIÓN

Normalmente el significado etimológico de participar significa tomar parte. Participar proviene de las lenguas latinas y el término ha sido analizado con amplitud, por ejemplo, a partir de Arnstein (1971) en su trabajo *A ladder of citizen participation* hace una crítica hacia este término y lo define como la distribución del poder del ciudadano en la exclusión de los procesos políticos y económicos, para ser incluido deliberadamente en el futuro y ser el medio de inducción de una reforma social significativa que permita compartir las ventajas de la sociedad. Desde la teoría política, el concepto de participación ciudadana es asociado a formas de organización de la democracia.

Términos como "participación pública", "participación ciudadana", "participación electoral y política", son usados normalmente para referirse a las diferentes maneras en las que los ciudadanos interactúan entre ellos mismos y con el Estado para tratar asuntos de poder y de vida pública. Muestra Olivos (1998) que la participación ciudadana se vincula al quehacer diario de la vida democrática, como una condición sin la cual (***sine qua non***) no se realizan los procesos y los procedimientos en la representación política.

La democratización de los países en el mundo y, por consiguiente, sus instituciones ha desembocado en una mayor iniciativa social hacia la participación y la vinculación de la comunidad. La participación nace en el seno de la sociedad civil organizada socialmente con bases en la creencia de ser capaces de crear su propio orden de gobierno. En este contexto, la participación ciudadana es el modo legítimo de actuar en democracia, hasta el punto de que no puede existir democracia sin participación (Sánchez, 2001). La democracia es la subordinación de la organización social y del poder político en particular. El papel principal en la construcción de todo pensamiento democrático debe ser desempeñado por los actores sociales mismos y no por las instituciones (Touraine, 2002). Con esta definición de Touraine se considera que los ciudadanos en una sociedad democrática quieren hacer oír su voz en la construcción de las políticas públicas, ya que son ellos precisamente quienes tienen que vivir diariamente con las decisiones gubernamentales a través de sus representantes.

Durante los años ochenta, en América Latina se conjuntó una serie de estrategias en las políticas sociales que influyeron en la descentralización: el discurso oficial sobre la participación ciudadana en función de la democratización del Estado y la introducción de mecanismos de mercado que se plasma básicamente en los planes de desarrollo. Para alcanzar los niveles superiores de participación comunitaria es necesario la intervención de la gestión, participando en el proceso decisorio a lo largo del proyecto enfrentando los problemas, su análisis y prioridades, planteando alternativas de solución con estrategias de implementación (Cohen y Franco, 2005). En México, el concepto de participación ciudadana tiene una historia relativamente reciente en nuestro país. Empezó adquirir importancia a partir de la introducción y adaptación de las teorías del desarrollo de la comunidad a fines de los años setenta, para luego vivir una especie de nuevo nacimiento en los años noventa al calor del debate internacional, promovido por el Banco Mundial, relativo a la necesidad de que diversos actores de la sociedad civil intervinieran en el proceso de las políticas públicas (SEMARNAT, 2007). En el nuevo gobierno del Distrito Federal, electo por primera vez por los ciudadanos de 1997, se desarrollaron experimentos de planeación participativa para crear programas parciales de desarrollo urbano. De esta forma, se fue generando una noción de participación como colaboración intersectorial en el ámbito de la planificación y la gestión de ámbitos micro de la política pública (Ziccardi, 2002).

1.1 Participación ciudadana en el ámbito ambiental sustentable en los países desarrollados

El fundamento político de la sustentabilidad, se encuentra estrechamente vinculado al proceso de la democracia y de construcción de la participación ciudadana basados en dos niveles en la democratización de la sociedad y del Estado. Más sin embargo Pacheco-Vega (2001) comentan sobre el proceso de las políticas ambientales que se fundamentan en el marco del desarrollo sustentable donde se apoya en el análisis de las dimensiones ecológicas, políticas y sociales. En los Estados Unidos y en la Comunidad Europea, en los proyectos de planeación son fundamentales la regulación de la legislación ambiental y la participación ciudadana. Los mecanismos deben maximizarse con la certeza ciudadana y crear una atmósfera de respeto y concertación de la comunidad con su entorno ambiental (Rubin and Carvajal-Quintas, 1995). El caso de BAN Waste en Newcastle en el Reino Unido, es el mejor ejemplo de las acciones de participación ciudadana con la organización de la comunidad para enfrentar los problemas de los residuos urbanos. Su es-

tructura democrática, la franqueza y la participación local, fueron estrategias en acuerdos y propuestas en los procesos para la solución a los problemas ambientales (Dodds y Hopwood, 2006).

Otro ejemplo del impacto de la participación de la comunidad es el Plan Maestro de Roxbury en Boston, Massachussets. El trabajo se desarrolló con reuniones y entrevistas con los residentes, funcionarios y representantes del gobierno de la ciudad a partir de 1999 terminando oficialmente en el 2003. Obteniendo como producto la integración y visión democrática para Roxbury y Boston donde se encontraron modelos de participación de ayuda cívica para ideas progresistas en la construcción de economías urbanas y vecindades marginadas (Jennings, 2004). Es de considerar que los gobiernos locales en la actualidad puntualizan como una estrategia en la democracia participativa la participación de sus comunidades. Esta herramienta, en la Unión Europea ha sido un éxito en las políticas de protección ambiental ya que el apoyo de los ciudadanos en la actuación comunitaria en esta materia es muy alto y, por ello, la política de medio ambiente ha funcionado indirectamente como motor del proyecto europeo (Aguilar, 2003).

Los problemas urbanos en la re planeación han sido asociados con cambios políticos en el gobierno y la mejora de la sociedad de las comunidades locales. El estudio de caso comparativo entre la ciudad de Bristol, en el Reino Unido, y la ciudad de Nápoles, en Italia, revelan que el capital social y las asociaciones locales en los nuevos sistemas de gobierno ponen en práctica una nueva reforma de planear aplicando confianza y participación de la comunidad. Esto sugiere un gobierno local más autónomo y mayor participación civil de la sociedad para resolver nuevas expectativas locales y, a su vez, una relación efectiva entre la democracia y la planeación local (Cento y Jones, 2006). La reserva de Albany Pine Bush en Nueva York, U. S. muestra el éxito en este ámbito sobre la experiencia en la relación entre la participación ciudadana y la protección ambiental. La comunidad tiene como base la protección del ambiente bajo seis principios: 1. Problemas puntuales en un área definida, 2. Trabajo colaborativo con los *stakeholder* (participantes en grupos o coaliciones de individuos, mesas redondas que tienen un interés en el asunto a tratar), 3. Determinar la calidad del aire, del agua, del suelo y de los recursos naturales, 4. Integración de lo ambiental, lo económico, lo social, y la administración local a los recursos de la comunidad, 5. Utilizar la regulación apropiada y las herramientas no regulatorias ambas públicas y privadas, y 6. Monitoreo y esfuerzos directos a través de un manejo adecuado (Colvin, 2002).

En la actualidad, en América Latina, la participación ciudadana hacia el ambiente se presenta después de ceder a los gobiernos locales la responsabilidad de la gestión urbana lo que manifiesta que la sociedad civil participe con el objeto de solucionar las necesidades que existen a nivel funcional lo que se refiere a los servicios públicos y de producción de la ciudad como lo son la vivienda, e infraestructura. El papel que tiene la participación ciudadana en el diseño de las políticas públicas en materia de medio ambiente como su inclusión conceptual en leyes, programas y planes de desarrollo en México.

1.2 Participación-acción

La investigación-acción (IAP) consiste en la definición y realización participativa de proyectos de investigación involucrando a las comunidades y a las organizaciones sociales populares en los problemas cuya solución puede favorecerse, a través de los resultados de la investigación. "No somos lo que somos sino lo que hacemos para cambiar lo que somos" Eduardo Galeano (2004), el problema es que la explotación de la naturaleza no se puede plantear como si no tuviese consecuencias, en un consumismo sin límites. El aporte de la IAP se fundamenta en la capacidad de los ciudadanos para resolver sus propios problemas y, por tanto, hacer que se corresponsabilicen y se impliquen en sus procesos de cambio, constituyendo un reto para las administraciones a nivel local, aceptar el dialogo, propuestas de la comunidad (Marti, 2005). De esta manera se logra entender y

conocer la realidad de forma directa además de interactuar con los sujetos bajo estudio, "con" la comunidad, en vez de "en" la comunidad (Weyland, 2007).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A fin de estudiar la participación de la comunidad en la separación selectiva de los residuos sólidos urbanos (RSU) se tomo como zona de estudio el fraccionamiento Jacarandas, ubicado al Noreste de la localidad de Tepic, capital del estado de Nayarit. Corresponde según el INEGI al Área Geo-estadística Básica AGEB 190-9, **Figura 1**. Los registros del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2005) muestran los siguientes indicadores socio demográficos municipales: población total 4,872, índice de juventud 50.33, índice de envejecimiento de 2.36, porcentaje de analfabetismo de 0.40 y con un total de viviendas habitadas de 1,441. Cuenta con un área de 37. 740 hectáreas. También se contó para el trabajo de estudio la escuela primaria *Justino Ávila Arce* (turno matutino); *Rey Nayarit* (turno vespertino).

2.1 Diseño del estudio de la sociedad

En la metodología de la acción-participativa se observan los siguientes componentes básicos:

1.-Constitución del equipo.- contacto con la comunidad con la que se va a trabajar a través de visitas, revisión de documentos de la comunidad. Conocer la historia y características socio demográficas de la comunidad al mismo tiempo que la comunidad conoce a los agentes externos y se conforma el grupo de trabajo.

2.-Identificación de la necesidades básicas, problemas, centros de interés.- delimitar la situación, comunicación visual a través de carteles en la colonia.

3.-Formulación del problema y delimitación del campo de estudio

4.-Técnica o procedimientos que se utilizarán para recoger datos y obtener información

5.-Trabajo de campo: recolección de datos e información

6.-Ordenación y clasificación de la información

7.-Análisis e interpretación de los datos

8.-Redacción de un informe preliminar

9.-Socialización de la información. Discusión de los resultados y redacción del informe final

2.1 Análisis de la generación de los residuos sólidos urbanos

En la zona de estudio de la 2º Sección se visito casa por casa invitando a las personas a participar en el programa de separación de residuos, explicando el problema de la alta producción de la basura y su disposición final, se levantó una encuesta socio demográfica (edad, sexo, nivel estudios, integrantes), se entrego un tríptico con las indicaciones de la separación selectiva, primaria, secundaria y terciaria. La siguiente semana se entregaron cintillas indicando el inicio de la separación y nuevamente las orientaciones de la separación y la recogida selectiva. Con respecto al trabajo con la primaria se solicito a los directores de ambos turnos el permitir trabajar con los estudiantes de 30 a 45 minutos cada semana.

En cada sesión se trató los problemas ambientales, en especial la alta producción de RSU (fomentar la actitud hacia la separación y el reciclaje). Para la planeación de cada semana se ha utilizado material didáctico, y diferentes dinámicas. El trabajo con la administración encargada del servicio de limpia en la ciudad, se han realizado diferentes visitas a la dirección de aseo y limpia, llevando una bitácora de campo, sobre las acciones realizadas por el personal y la autoridades involucradas en la recogida de las basuras de la comunidad.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos preliminares del estudio de la sociedad y aplicación de la metodología participación-acción en una comunidad de la ciudad de Tepic, hasta la fecha del 29 de abril de 2010, muestran los siguientes datos.

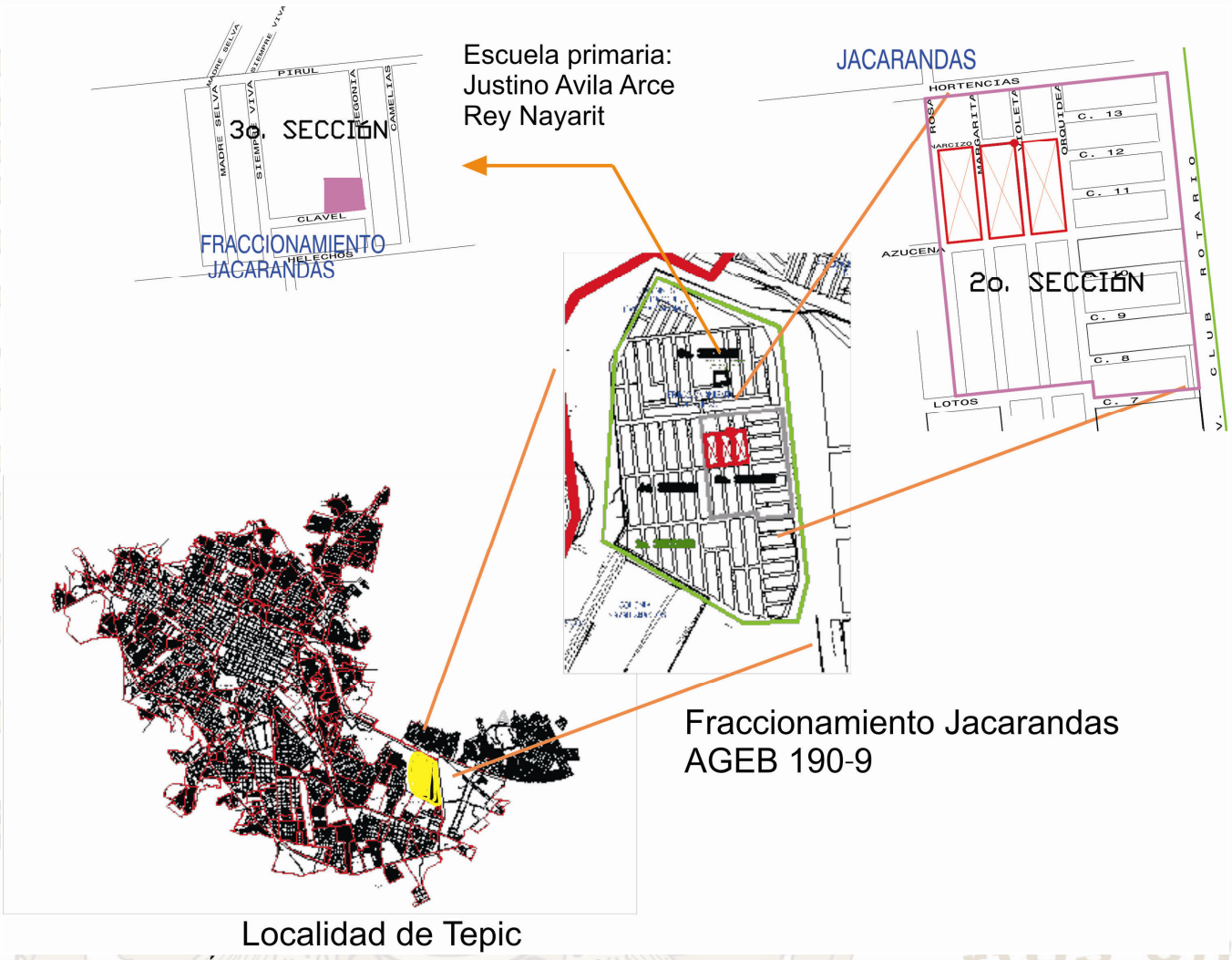


Figura 1. Área de estudio y localización de la 2ºSección y escuela primaria en el Fracc. Jacarandas.

Del 100% de las casas habitación estudiadas en la 2º Sección de la zona de estudio, el análisis determina que sólo el 25% de los sujetos participó en la separación selectiva de sus basuras más sin embargo, el 90% afirmó en la encuesta socio demográfica que "sí" estaba dispuesto a participar en el programa de separación de residuos. Se observa en la **Figura 2**, que un cierto número de sujetos separan sus basuras "*in situ*", en bolsas de desechos sanitarios (pañal desechable, papel sanitario, cabellos, rastrillos), orgánicos (residuos de comida), e inorgánicos (plástico, papel y cartón), amarrándolas en un sólo nudo.

La **tabla 1** refleja los avances del estudio de la participación hacia el reciclaje con los estudiantes de la primaria. Los resultados obtenidos muestran un avance considerable y aumento de forma gradual con la primaria *Justino Ávila Arce* mientras que con la primaria *Rey Nayarit* la actitud hacia la acción de llevar el material para reciclar no ha presentado el mismo comportamiento. Estos datos arrojan el trabajo realizado con los estudiantes y maestros sobre la concientización sobre el cuidado hacia el ambiente.

En cuanto al trabajo con la dirección de aseo las visitas y platicas realizadas con los sujetos involucrados en la gestión del servicio de limpia. Se observó la complejidad de la resolución a la recogida de la basura, el parque vehicular ineficiente e insuficiente, el manejo del personal la mayor parte sindicalizado (choferes, y cajoneros), la falta de supervisión en el trabajo, capacitación y presencia en la recogida.



Figura 2. Bolsas de residuos sólidos urbanos, separados y amarrados en un sólo nudo.

En cuanto al trabajo con la dirección de aseo las visitas y platicas realizadas con los sujetos involucrados en la gestión del servicio de limpia. Se observó la complejidad de la resolución a la recogida de la basura, el parque vehicular ineficiente e insuficiente, el manejo del personal la mayor parte sindicalizado (choferes, y cajoneros), la falta de supervisión en el trabajo, capacitación y presencia en la recogida. Las acciones muestran que entre más rápido se realice el trabajo, no tiene importancia como se hace. La recogida se realiza de forma indiscriminada todo se recoge y se compacta en el camión recolector (domicilios, taquerías, tiendas, juguerias).

Tabla 1. Cuantificación de la separación selectiva en la escuela primaria del Fracc. Jacarandas.

4 semanas –montos de recuperación de materiales		
Material	**Justino Ávila Arce (kg)**	**Rey Nayarit (kg)**
Plástico PET	61,000.00	18,680.00
Cartón	50, 690.00	12,510.00
Aceite de cocina	3,690.00	110.00

Los avances del presente trabajo representan una aproximación a la utilización de la metodología IAP en la intervención de todos los agentes que intervienen en la comunidad y de esta forma se engloba a todos los actores desde el ámbito local (ciudadanos, servicio de limpia y administraciones), (Martí, 2005). De los comportamientos y actitudes de la comunidad en cuanto al manejo de sus basuras *El Proyecto Basura* investigación realizadas por Rathje y Murphy (1992), comentan lo que desechamos es el resultado de la conducta real y podríamos ser capaces de aprender algo acerca de nosotros mismos, mirando lo que tiramos. Además afirman que cualquier sociedad o cultura que ha existido en el planeta Tierra ha utilizado los cuatro métodos básicos de eliminación de la basura: tirarla, quemarla, reciclarla o reducirla.

La comunidad no tiene idea concreta de lo que consume, tira, dice y hace sobre el manejo de sus basuras el resultado es que la gente dice o cree que hace y muchas veces es notablemente distinto de su comportamiento actual (Rathje, 2001).

Los resultados del trabajo y la participación en la institución educativa, afirman que desde el aula de clase y la comunidad escolar deberá propiciarse el ejercicio participativo, alcanzarlo de forma individual y colectiva discerniendo su relación con su contexto ambiental socializando y potenciando las condiciones y competencias de los estudiantes para decidir, mejorar su calidad de vida y experimentar la gestión al cambio (Casilla y Inciarte, 2004). En cuanto a la administración municipal, su papel es estratégico, pues se trata de garantizar el desarrollo del proceso comunitario. Implementando planes de transformación social con la intervención de la comunidad (Martí, 2005).

IV. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología IAP en el ámbito micro-local ha puesto en marcha una forma de entender la participación ciudadana y su corresponsabilidad con el ambiente, y la gestión de los servicios de limpia en la ciudad de Tepic, en Nayarit. Para que se involucren en un proceso de cambio de cultura ambiental donde la cohesión de la comunidad le dará identidad propia y se reapropiaran de su contexto. Los datos preliminares

de la investigación, indicaron un desconocimiento total de cada uno de los actores en el problema del manejo de separación y la alta producción de RSU. El 25 % de los participantes, mostraron interés y participación activa para realizar la separación de RSU: PET, Cartón y Papel, y Aceite de cocina. El 75 % restante de la muestra en el estudio del AGEB 190-9, mostraron la resistencia al cambio y la falta de educación ambiental. Lo que permitirá fomentar una dinámica social abierta y permeable al sensibilizar y concientizar al sector de la población, en la idea de lo que hay que mejorar y como hacer la participación capacitada, activa y promover la educación ambiental como instrumento de transformación social. Así mismo constituye un reto para el investigador en el involucramiento con las administraciones, trabajadores y comunidad en el ámbito de los residuos urbanos, a partir de que realmente estén dispuestos los actores a aceptar el dialogo, propuestas de acción hacia un proceso de cambio comunitario como lo afirma Villasante (2000) "No hay atajo. Hay que hacer el proceso".

V. RECONOCIMIENTOS

Este proyecto se realizó gracias al financiamiento otorgado por el Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Secretaria de Educación Pública (SEP), por el beneficio de ex becario. Así también al Honorable XXXVIII Ayuntamiento de Tepic a través de la Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), y a la Dirección de Aseo Público.

VI. REFERENCIAS

Aguilar, -F. S., 2003. El principio de integración medioambiental dentro de la Unión Europea: la imbricación entre integración y desarrollo sostenible. Papers, No.71 pp. 77-79.

Arnstein, S. R., 1969. A ladder of citizen participation. Journal of the Royal Town Planning Institute, vol. 35, No. 4, pp. 216-224

Casilla, M. D. y Inciarte A. G., 2004. La naturaleza de la acción participativa y la formación para participar. Espacio Abierto, Vol. 13, No. 002, pp. 249-275.

Cento Bull and Jones, 2006. Gobernance and Social Capital in Urban Regeneration: A Comparison between Bristol and Naples. Urban Studies. Routledge. Vol. 43, No. 4, pp. 767-786.

Cohen, e., Franco R., 2005. Gestión Social. Como lograr eficiencia e impacto en las políticas sociales. CEPAL, Siglo veintiuno editores.

Colvin, R. A., 2002. Community-Based Environment Protection, Citizen Participation, and the Albano Pine Bush Preserve. Society and Natural Resources, Taylor & Francis. Vol. 15, pp. 447-454.

CONAPO. Consejo Nacional de Población 2005. Indicadores demográficos básicos.

Dodds, L. and Hopwood, B. Ban Waste, 2006. Environmental Justice and Citizen Participation in Policy Setting. Local Environment. Routledge Vol.11, No. 3, pp. 269-286.

Galeano, E., 2004. Las venas abiertas de América Latina, Siglo XXI, Madrid.

Jennings, J., 2004. Urban Planning, Community Participation, and the Roxbury Master Plan in Boston. The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science.

Martí, J., J. P. y O. R., 2005. Participación y desarrollo comunitario medio urbano. IEPALA Editorial/CIMAS, Madrid, España.

Olivos, R., 1998. La participación ciudadana en la tarea de gobernar: El caso del Estado de Michoacán 1988-1996. 1º ed. México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, pp. 136.

Pacheco Vega y Vega López., 2001. Dos modalidades de participación ciudadana en política ambiental. Economía, Sociedad y Territorio, Vol. III, No. 9, pp. 25-62.

Rathje, W. L., 2001. Inntegrated archaeology. A. Garbage paradigm, en Archaeologies of the contemporary past, Eds. Buchli, V. y Lucas, G., Routledge, London and New York.

Rathje, W. L. y Murphy, C., 1992. Rubbish! The archaeology of Garbage, HarperCollins, New York.

Rubin, R. and Carbajal-Quintas B., 1995. Environmental Regulation and Public Participation in Project Planning. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice. Vol. 121, No. 3, pp. 183-186.

Sánchez, S. E., García, M. J., 2001. Análisis de las motivaciones para la participación en la comunidad. Papers, No. 63-64, pp. 171-189.

SEMARNAT, 2007. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. -Estrategia nacional para la participación ciudadana en el sector ambiental. Marco jurídico de la participación ciudadana en México.

Touraine, A., 2002. Crítica de la Modernidad. 2º. ed. México: Fondo de Cultura Económica.

Villasante, T. R., 2000. Procesos para la creatividad social. Madrid. Facultad de Sociología de la Universidad Complutense de Madrid.

Weyland, K., 2007. La investigación social y la acción comunitaria en la era global: experiencias y relatos. Instituto Tecnológico de Santo Domingo. Vol. XXXII, No. 004, pp. 522-555.

Ziccardi, 2002. A. Políticas Sociales y gobiernos locales en el federalismo. Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México. Ponencia presentada en el Primer Congreso Nacional Políticas Sociales en la Universidad de Quilmas, Argentina.

Presentación

Antecedentes

Extensos

Sede

Contacto

14. Aspectos políticos y sociales.

- La autoeficacia ambiental percibida y el manejo integral de los residuos sólidos.
- Evaluación de barreras para fomentar conducta de separación de residuos
- Centro juvenil de promoción ambiental "Acohuetzi" una estrategia de atención al manejo de los residuos sólidos. Hacia un futuro indiferente.

LA AUTOEFICACIA AMBIENTAL PERCIBIDA Y EL MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

México, Distrito Federal

Cristina Barrientos Durán[1]

Marcos Bustos Aguayo[2]

Verónica Durán Carmona[3]

cristina2902@gmail.com

Resumen

El desarrollo de un manejo integral de los residuos sólidos es un proceso complejo que incluye la ejecución de varias acciones como el uso eficiente de recursos y una producción reducida de desechos. Éstas constituyen tareas importantes durante las actividades producción y consumo, en las cuales la participación social e individual tienen gran relevancia. La psicología ambiental está interesada en apoyar las intervenciones educativas a través del impacto causal y predictivo de variables cognoscitivas, psicosociales y contextuales sobre la conducta proambiental. Diversas investigaciones informan que el sentimiento de autoeficacia es un importante predictor de dichas conductas en los jóvenes. El presente estudio se planteó como principal objetivo el identificar que tan ambientalmente eficaces se percibían una muestra de jóvenes universitarios con respecto al manejo de residuos sólidos; se aplicó una escala a 150 estudiantes de una universidad pública obteniéndose una adecuada confiabilidad (.86). La media del puntaje total fue de 7.31 (valor máximo 10) y se observó que las tres acciones en las que los jóvenes se percibieron más eficaces fueron utilizar las hojas por los dos lados, rellenar las botellas de agua y separar los residuos en diferentes contenedores; mientras que se percibieron menos eficaces en las acciones de llevar las pilas a un deposito, rechazar recipientes de unicel, llevar los tetrabrick al centro comercial. Estos grupos de conductas se encontraron relacionados con las facilidades tales como distancia del contenedor. Finalmente los aspectos motivacionales de la conducta proambiental se discuten en términos de la autoeficacia ambiental percibida.

Palabras Clave - psicología ambiental, conducta proambiental, barreras internas, autoeficacia ambiental percibida, motivación

Abstract

The development of integral management of solid waste is a complex process that includes the performance of several actions like efficient use of resources and a reduced production of waste. These are important actions during production and consumption activities, in which social and individual participation have high relevance. Environmental psychology is interested in give support to educational interventions trough the study of causal and predictive impact of cognitive, psychosocial and contextual variables on proenvironmental behavior. Some research informs that sense of self-efficacy is an important predictor of proenvironmental behaviors in young people. The proposal of the present study is to report the results of the evaluation of sense of environmental self-efficacy in 150 students attending a public

[1] Facultad de Psicología, UNAM. cristina2902@gmail.com

[2] Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. bustosam@yahoo.com

[3] Universidad Autónoma de la Ciudad de México. mac_6840@yahoo.com.mx

university, in the context of a recycling program. The scale utilized was of unidimensional type with acceptable level of internal consistency (α = .86) and showed that students had a moderated sense of self-efficacy respect actions related to management of solid waste (M = 7.31, maximum value = 10). In three behaviors students reported higher sense of self-efficacy: to use both sides of sheets, refill the water bottles and deposit solid waste items in the containers, while the behaviors associated with less sense of self-efficacy were to take used batteries to deposit, reject unicel recipients and to take empty tetrabrik recipients to the mall. Also these groups of behaviors are related with the facilities, like distance of the deposit. Finally motivational issues of proenvironmental behaviour are discussed in terms of perceived self-efficacy.

Keywords: Environmental psychology, environmental behavior, internal barrier, perceived environmental efficacy, motivation.

I. INTRODUCCIÓN

Diversos mecanismos gubernamentales (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos (2003) y el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos 2009-2012 (SEMARNAT, 2008) tienen como objetivo el promover un manejo más integral de los residuos, el cual contempla la ejecución de diversas acciones como son el prevenir, minimizar y separar los residuos desde la fuente y el reutilizar y reciclar.

Las instituciones educativas, específicamente las universidades públicas son grandes fuentes generadoras de desechos, por lo que la promoción de un manejo integral de residuos en las mismas trae consigo diversos beneficios entre los que se encuentran el dar cumplimiento a la normatividad gubernamental, el disminuir el impacto ambiental, el obtener recursos económicos adicionales y el ser un modelo para los alumnos y la sociedad en general (Kallgren y Wood, 1986).

La psicología ambiental a través el estudio de la conducta proambiental se encarga de estudiar a fondo los determinantes de las acciones de conservación, para que a partir de un conocimiento más profundo de los factores o variables que pueden explicar las acciones de cuidado del entorno se pueda sugerir cómo promover acciones de protección, brindando elementos teóricos que sustenten las acciones de los educadores ambientales y las personas interesadas en la generación de conducta de conservación a través del cambio de hábitos, valores y actitudes hacia un manejo más sustentable de los recursos.

La modificación de la conducta proambiental es un objetivo de la educación ambiental y se entiende esta como una acción que preserva o protege el ambiente (Suárez, Hess y Martínez-Torvisco, 1997) y que esta dirigida a minimizar el impacto negativo que las acciones humanas tienen sobre el mundo natural y construido (Kolmuss y Agyeman, 2002). Abarca diferentes tipos de acciones ecológicas caracterizadas en función de su relevancia, impacto ambiental o la intención de proteger o beneficiar al ambiente (Stern, 2000). El principio de las 3R´s (reducir, reutilizar y reciclar) contempla la ejecución de diversas acciones como son el prevenir, minimizar y separar los residuos desde la fuente, el reutilizar y reciclar, acciones en las que los científicos sociales y específicamente los psicólogos ambientales quienes han desarrollado a lo largo de un tiempo relativamente corto una gran cantidad de investigación.

Se han investigado una gran cantidad de variables (Hines, Hungerford y Tomera, 1986-1987) que han sido analizadas a través de diferentes enfoques como el conductual (Geller, 1989), el cognoscitivo (De Young, 2000, 1993; 1986; Vinning, Linn y Budge,1992; Young y Wit-

ter,1994), el psicosocial (Guevara, 2002; McKenzie y Smith, 1999) o el mixto (Bustos, 1999); con el objetivo de desarrollar estrategias más eficientes para la promoción de la conducta de separación (Hines, Hungerford y Tomera, 1986-1987).

Un aspecto imprescindible es la identificación y evaluación de las barreras referidas a aquellas limitaciones externas o internas al individuo que pueden inhibir su involucramiento en acciones de protección ambiental (McKenzie y Smith, 1999; McKenzie, 2000; Milbrath, 1995). Blake (1999) describe tres tipos de barreras referidas a factores individuales, restricciones sociales e institucionales y la ausencia de responsabilidad, en donde las personas sienten que no pueden influir de manera importante en la solución o bien no perciben responsabilidad por parte de las instituciones.

La participación de los individuos se da de manera diferencial y esta condicionada a diversos elementos que envuelven a la acción específica a realizar, se pueden clasificar en situacionales y personales, referidos a variables externas e internas a la persona. (Schultz, Oskamp y Manieri, 1995); entre los situacionales se encuentran:

1. Acceso y existencia de contenedores (Barr, 2004; Barr, 2007; Bustos, 1999; Do Valle, 2004; Ewing, 2001; Folz y Hazlett, 1991; Gamba y Oskamp, 1994; González y Adenso, 2005; McBean, Gondim, y Rovers, 2007; McKenzie, 2000; Robles, 2003; Simmnos, Talbot y Kaplan, 1984-1987; Vinning y Ebreo, 1990; Vinning, Linn y Budge, 1992).

2. Características físicas de los contenedores, tales como tamaño, forma, color y localización (Robles, 2003).

3. Incitadores/promps (Bustos, 1999; Robles, 2003).

4. Espacio disponible (Corral, 2001b; Gamba y Oskamp, 1994; McBean, Gondim, y Rovers, 2007; Nixon y Saphores, 2009; Vinning y Ebreo, 1990).

5. Costo de los materiales (McBean, Gondim y Rovers, 2007).

6. Apoyo de las autoridades (Folz y Hazlett, 1991; McBean, Gondim, y Rovers, 2007; Pieters, 1991).

7. Inversión de tiempo (McKenzie y Smith, 1999; McKenzie, 2000).

Según diversos teóricos (De Young, 2000, 1993; 1986; Schultz, Oskamp y Manieri, 1995; Vinning, Linn y Budge,1992) una de las barreras internas que más influye sobre la ejecución de conducta proambiental es la autoeficacia ambiental percibida (Ajzen y Madden, 1986; Ajzen y Timko, 1986, Bandura, 1986; Maddux y Rogers, 1983; Olivari y Urra, 2007), por lo que ha sido incorporada en varios modelos explicativos de conducta de conservación ya que según Axelrod y Lehman (1993) y Bandura (2002) es importante para determinar si el hecho de que las personas crean que tienen la capacidad de ayudar a resolver los problemas ambientales (Grob, 1995; Hines, Hungerford y Tomera, 1986) y tiene incidencia en el involucramiento de las mismas en acciones de cuidado ambiental.

Debido a que las personas con altos niveles de autoeficacia muestran una fuerte confianza y control sobre sus habilidades para la ejecución de tareas (Meinhold y Malkus, 2005) y poseen una mayor tendencia a participar en acciones de beneficio social dichas características se pueden extender y enfocar a la protección de animales, plantas y el medio ambiente en general (Fogel, Melson y Mistry, 1986).

La teoría de la autoeficacia de Bandura (1977, 1983, 1986, 1995, 1997) es uno de los conceptos más utilizados para explicar la motivación de la conducta; ya que enfatiza los determinantes psicológicos de la misma (Axelrod y Lehman, 1993) y tiene un alto grado predictivo (Ajzen y Madden, 1986; Ajzen y Timko, 1986; Ban-

dura, 1986; Maddux y Rogers, 1983; Olivari y Urra, 2007).

Bandura (1977) la define como las creencias de las personas con respecto a su propia capacidad para organizar y ejecutar las acciones necesarias para manejar situaciones futuras o bien las creencias en las propias capacidades para organizar y ejecutar los cursos de acción requeridos para producir determinados logros o resultado y señala la necesidad de evaluar la autoeficacia en relación con los problemas ambientales y la sustentabilidad (Bandura, 2002).

Medición de la autoeficacia percibida

Según Axelrod y Lehman (1993) el constructo de eficacia se conforma de la siguiente manera:

1. Respuesta eficaz, que se refiere a la creencia de que las acciones llevadas a cabo son efectivas.

2. Percepción de autoeficacia, que son las creencias con respecto a las propias capacidades para involucrarse en una determinada acción.

3. Canales de autoeficacia, referidos a la evaluación que el sujeto realiza acerca de la dificultad que espera encontrar si adopta una determinada conducta.

Coolican (1997) señala la conveniencia de evaluar la autoeficacia en un nivel de medición ordinal, ya que según él, se da en niveles jerárquicos; por lo que son los instrumentos más utilizados para su evaluación las escalas de autorreporte, principalmente las que miden la autoeficacia en un sentido general (Olivari y Urra, 2007). Bandura (1986) y Pajares y Miller (1994) puntúan la importancia de evaluar la autoeficacia hacia las conductas de manera concreta, ya que la autoeficacia es una evaluación acerca de la propia capacidad para ejecutar conductas específicas en situaciones también específicas.

En un estudio realizado por Axelrod y Lehman (1993) se analizaron diversas variables predictoras de la conducta proambiental, evaluada esta última mediante un inventario que analizaba la frecuencia en la que los participantes realizaban 24 diferentes acciones de protección ambiental con el objetivo de determinar su grado de influencia; evaluaron tres tipos de actitud (actitud general hacia el ambiente, actitud ante su protección y evaluación de la importancia del problema) y tres factores de autoeficacia (percepción de autoeficacia, respuesta eficaz y los canales de autoeficacia). Se aplicó un cuestionario a 259 estudiantes de licenciatura y 341 empleados de una universidad y encontraron que la conducta proambiental se relaciona significativamente[4] con las variables actitud favorable (.45*), alta percepción de riesgo (.36*), importancia de los problemas (.55*), percepción de respuesta eficaz (.30*), autoeficacia (.39*) y canales de acción eficaz (.39*); así como con un menor deseo de obtener resultados tangibles (-.23*), resultados especiales (-.20*) y deseo de resultados impresionantes (.45*). Al realizarse un análisis de regresión se encontró que las variables que explicaban la conducta proambiental fueron: el deseo de resultados impresionantes (.32*), la importancia a los problemas (.30*), el canal de eficacia (.20*), el deseo de obtener resultados especiales (-.23*), la percepción de autoeficacia (.28*) y la percepción de riesgo (. 15*); (r=.72); f(306), p<.001).

En una muestra de 848 estudiantes de educación media superior de Estados Unidos, Meinhold y Malkus (2005) analizaron la relación entre las variables de autoeficacia, conocimiento y actitud, ambiental con el autoreporte de conductas proambientales. Encontraron que la autoeficacia per-

[4] * P<.05, ** P<.01 , ***P<.001

cibida se relacionó de manera significativa con la actitud ambiental (.23***), el conocimiento ambiental (.16***) y la conducta proambiental (.30***). Mediante un análisis de regresión demostraron que los adolescentes que poseían una actitud ambiental más positiva desarrollaban con mayor frecuencia conductas proambientales F (2, 836)=116.68, p<. 001. Además, la autoeficacia predijo una mejor actitud ambiental F(1, 813)=71.07, p<. 001. Las autoras concluyeron que los adolescentes que demuestran una actitud ambiental positiva y una fuerte percepción de autoeficacia no siempre lo reflejan en la ejecución de conductas proambientales, al menos no de igual manera para hombres y mujeres y propusieron que la variable autoeficacia puede ser una variable moderadora para el caso de las mujeres y funcionar como una variable independiente para el caso de los hombres

Lee (2008) evaluó la predictibilidad sobre la conducta proambiental de las variables actitud y conciencia ambiental, preocupación por la seriedad de los problemas ambientales, responsabilidad ambiental percibida y percepción de efectividad de la conducta. La muestra estuvo constituida por 500 estudiantes de Hong Kong cuya edad promedio era de 14 años. Mediante un análisis regresión encontró que la conducta proambiental estaba influida por la conciencia ambiental (ß=.33, t=6.71***), la percepción de seriedad ambiental (ß=-.11, t=-2.68**), la percepción de responsabilidad ambiental (ß=.27, t=5.96***) y la efectividad percibida de la conducta proambiental (ß=.22, t=5.30***). Donde F=60.95***, R^2=.39, **p<.01, *** p<.001.

Así, se ha documentado la relevancia de analizar la influencia que diversas variables internas al individuo que pueden promover o bien inhibir el que los individuos lleven a cabo acciones de cuidado del entorno. Por lo que el objetivo principal del presente estudio fue el confiabilizar y validar un instrumento para evaluar la autoeficacia respecto a diversas conductas que conformaban un manejo integral de los residuos sólidos.

II. MÉTODO

Muestra

Se aplicó el instrumento a 150 estudiantes de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, del Plantel San Lorenzo Tezonco (75 mujeres y 75 hombres) de entre 18 y 38 años.

Instrumento

La escala constó de 16 reactivos en la que se les solicitaba a los alumnos que contestaran según la conducta señalada qué tan seguros estaban de poder realizar la actividad señalada con base en los conocimientos y habilidades que poseían en el momento de la aplicación; la escala iba de 0 a 10, donde 0 representaba la percepción de no poder hacerlo y 10 el estar seguro de poder llevar a cabo la acción.

Procedimiento

La aplicación se realizó a alumnos, de las diversas carreras y semestres en diversas áreas del plantel (pasillos, escaleras, jardineras, etc.), el muestreo fue no intencional en donde se les solicitó a los mismos su apoyo para contestar un cuestionario sobre cuestiones ambientales; el tiempo aproximado de aplicación fue de 15 minutos y los datos se analizaron mediante el paquete estadístico SPSS (versión 11).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se consideró que los 16 reactivos que conformaban la escala de autoeficacia ambiental percibida conformaban en su conjunto un manejo integral de los residuos sólidos, por lo que se decidió analizar la confiabilidad total del mismo mediante el alfa de Crombach, obteniéndose un valor de .859. La escala iba de 0 a 10, donde 0

representaba la percepción de no poder hacerlo y 10 el estar seguro de poder llevar a cabo la acción. Se analizó la frecuencia por cada una de las 16 acciones observándose una media total de 6.44 (desv. típ. 1.827), lo cual refleja que los estudiantes universitarios poseían una pobre percepción de autoeficacia ambiental, es decir no se perciben capaces para realizar el conjunto de acciones que en su conjunto integran un manejo integral de los residuos sólidos.

Al ordenarse los puntajes de mayor a menor de acuerdo a los valores medios obtenidos para cada conducta se puede observar que existe una marcada diferencia entre las percepción de autoeficacia que tienen los estudiantes para cada una de las conductas (ver tabla 1).

Tabla 1.Medias obtenidas en la escala de autoeficacia ambiental percibida

ORDEN	REACT.	CONDUCTA EVALUADA	MEDIA	DESV. TÍP.
1º	12	Utilizar hojas por los lados	8.12	2.585
2º	6	Rellenar las botellas	7.85	2.611
3º	1	Separar en diferentes contenedores	7.46	2.574
4º	4	Separar en orgánica e inorgánica	7.11	2.690
5º	11	Separar el papel, cartón y periódico	7.09	2.777
6º	7	No tirar las pilas a la basura	7.06	3.006
7º	14	Hacer abono	6.46	3.060
8º	3	Comprar refrescos retornables	6.31	2.883
9º	13	Comprar pilas recargables	6.27	3.395
10º	5	Comprar en envases grandes	6.09	2.771
11º	2	Reducir la cantidad de basura generada	6.02	2.437
12º	9	No consumir líquidos envasados	5.79	5.754
13º	10	Clasificar envases de plástico	5.75	2.952
14º	15	Llevar las pilas a un deposito	5.53	3.241
15º	16	Rechazar el unicel	5.51	2.989
16º	8	Llevar los tetrabrick al centro comercial	4.54	3.099

Así, las tres acciones en las que los jóvenes se percibieron más ambientalmente eficaces fueron el utilizar las hojas por los dos lados (M= 8.12), el rellenar las botellas de agua (M= 7.85) y separar los residuos en diferentes contenedores (M= 7.46), como se puede observar son acciones que los jóvenes pueden ejecutar con relativa facilidad y que nos les implica una mayor inversión de tiempo, esfuerzo o recursos cognoscitivos y/o físicos.

Por el contrario las tres acciones en las que se percibieron menos eficaces que fueron el llevar los envases de tetrabrick a un centro comercial (M= 4.54), el rechazar el unicel (M= 5.51) y el llevar las pilas a un deposito (M= 5.53) son el reflejo de la dificultad que les representa a los jóvenes dichas acciones. Dos de ellas (llevar los envases de tetrabrick a un centro comercial y llevar las pilas de desecho a un deposito especial) implican el involucramiento de una serie de elementos: a) Información, ya que es necesario identificar los lugares específicos que cuenten con este servicio, en el caso de los envases de tetrabrick un determinado supermercado y en el caso de las pilas la ubicación de los centros de recolección. b) Infraestructura, implica que los jóvenes deben tener a la mano lugares que posean los elementos adecuados para depositarlos de una manera adecuada, además de que dichos sitios debieran encontrarse a una distancia accesible que nos les implique mayor trabajo físico.

Por otro lado, el rechazar el unicel, puede ser visto como una dificultad en función de la extensión que este material en la sociedad actual, sobre todo en las reuniones sociales, además como estudiantes con frecuencia tienen la necesidad de consumir sus alimentos y bebidas fuera del hogar y los lugares donde consumen por lo general utilizan platos y vasos de unicel, por lo que tienen poca capacidad de decisión con respecto a su utilización.

IV. CONCLUSIONES

- El manejo integral de los residuos sólidos es un proceso que contempla la ejecución de diversas acciones como son el prevenir, minimizar y separar los residuos desde la fuente, el reutilizar y reciclar, acciones en las que los científicos sociales y específicamente los psicólogos ambientales han desarrollado gran cantidad de investigación.
- La aparición de conducta proambiental se encuentra condicionada a factores psicosociales y situacionales (Hines, Hungerford y Tomera, 1986/87), por lo que para que se lleve a cabo las personas deben desarrollar elementos cognoscitivos y motivacionales adecuados; así como también encontrar en el entorno condiciones que faciliten y promuevan dicha ejecución y que les permitan superar las posibles barreras con las que se pudiera encontrar.
- El análisis de la autoeficacia ambiental percibida se consideró relevante debido a la relación tan cercana que guardan con la motivación.
- Este estudio representa una aportación teórica importante al estudio de la autoeficacia ambiental percibida, la cual a pesar de ser señalada por diversos teóricos (Bandura, 2002, Hines, Hungerford y Tomera, 1986-87) como un elemento básico el desarrollo de conducta proambiental no ha sido e estudiada con la magnitud que debiera (Axelrod y Lehman, 1993; Lee, 2008; Meinhold y Malkus, 2005).
- El manejo integral de residuos sólidos se encuentra integrado por una serie de conductas proambientales (evitación de consumo, reuso, separación de residuos, etc.).
- Se confirma que la autoeficacia ambiental percibida de los jóvenes para realizar acciones proambientales de manejo integral de residuos sólidos se encuentra condicionada a las facilidades presentes en el entorno.

REFERENCIAS

Ajzen, I. y Madden, T. J. (1986). Prediction of goaldirected behavior: The role of intention, perceived control, and prior behavior. Journal of Experimental Social Psychology, 26, 305-328.

Ajzen, I. & Timpko, C., 1986. Correspondence between health attitudes and behavior. Journal of a Basic and Applied Social Psychology, 7, 259-276

Bandura, A., 1986. Social Foundation of Thought and Action: A Social Cognitive Theory. Englewood Cliffs: N. J. Prentice Hall.

Bandura, A., 1995. Exercise of personal and collective efficacy. En: Bandura, A. (ed.) Self – efficacy in Changing Societies, 1 – 45. EEUU: University of Cambridge.

Bandura, A., 1997. Self-efficacy: The exercise of control. New York: W. H. Freeman.

Bandura, A. (2002). Environmental sustainability by sociocognitive deceleration of population growth. In Schmuck, P. & Schultz, W. (eds.) The Psychology of Sustainable Development, Dordrecht, Netherlands. Recuperado el 11 de marzo de 2009, de: http://books.google.com.mx

Barr, S. (2004). Are we all environmentalists now? Rhetoric and reality in environmental action. Geoforum, 35, 231–249.

Barr, S. (2007). Factors Influencing Environmental Attitudes and Behaviors. A U.K. Case Study of Household Waste Management. Environment and Behavior, 39, 435-473.

Blake, J. (1999). Overcoming the ´value-action´ in environmental policy: tensions between national policy and local experience. Local Environment, 4, 257-278.

Bustos, A. M. (1999). Estrategias conductuales antecedentes

tes para el fortalecimiento de la separación de residuos sólidos reciclables en FES Zaragoza. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Cooolican, H., 1997. Métodos de investigación y estadística en psicología. México: El manual Moderno, S.A.

Corral, V. V. (2001b). Variables disposicionales, situacionales y demográficas en el reciclaje de metal y papel. Medio Ambiente y Comportamiento Humano, 2, 1-19.

De Young, R. (1986). Encouraging environmentally appropriate behavior: The role of intrinsic motivation .Journal of Environmental Systems, 15, 281 - 292.

De Young, R. (1993). Changing Behavior and Making Stick. The Conceptualization and Management of Conservation Behavior. Environment & Behavior, 25, 485 505.

De Young, R. (2000). Expanding and Evaluating Motive for Environmentally Responsible Behavior. Journal of Social Issues, 56, 509-526.

Do Valle, P. (2004). Behavioral determinants of household recycling participation the Portuguese case. Environment & Behavior, 36, 505–540.

Ewing, G. (2001). Altruistic, egoistic, and normative effects on curbside recycling. Environment & Behavior, 33, 733-764.

Folz, D. & Hazlett, J. (1991). Public participation recycling performance: explaining program success. Public Administration Review, 51, 526-532.

Fogel, A., Melson, G. & Mistry, J. (1986). Young children's interest in unfamiliar infants: The effects of adult involvement. International Journal of Behavioral Development, 10, 37-50.

Gamba, R. J. & Oskamp, S. (1994). Factors influencing community residents' participation in commingled curbside recycling programs. Environment & Behavior, 26, 587–612.

Geller, E. S. (1989). Applied Behavior Analysis and social Marketing: An integration for environmental preservation. Journal of Social Issues, 45, 17-36.

Guevara, M. J. (2002). Intervención comunitaria desde la psicología ambiental: el caso de la basura. En Guevara, M. J. y Mercado, D. S. (Coords). Temas selectos de psicología ambiental. México. FESI, UNAM, GRECO, Fundación Unilibre.

González, P. & Adenso, B. (2005). Influence of distance on the motivation and frequency of household recycling. Waste Management, 25, 15–23.

Grob, A. (1995). A structural model of environmental attitudes and behavior. Journal of Environmental Psychology, 15, 209-220.

Hines, J. M., Hungerford, H. R. & Tomera, A. N. (1987). Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: A meta-analysis. Journal of Environmental Education, 18, 1-8.

Kallgren, C. A. & Wood, W. (1986). Access to attitude relevant information in memory as a determinant of attitude-behavior consistency. Journal of Experimental Social Psychology, 22, 328-338.

Kolmuss, A. & Agyeman, J. (2002). Mind the Gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? Environmental Education Research, 8, 239-260.

Lee, K. (2008). Factors Promoting Effective Environmental Communication to Adolescents: A Study of Hong Kong. China Media Research, 4, 28-36.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003). Recuperada el 15 de mayor de http://www.culturaecologica.org.mx/documentos/112307683_Ley_General_Residuos.pdf.

Maddux, J. E., & Rogers, R. W. (1983). Protection motivation theory and self-efficacy: A revised theory of fear appeals and attitude change. Journal of Experimental Social Psychology, 19, 469-479.

McBean, E., Gondim, F. & Rovers, F. (2007). Constrains and opportunities influencing recycling rates in some deveveloping. Journal of Solid Waste and Management, 33, 16 24.

McKenzie, M. D. & Smith, W. (1999). Fostering Sustainable Behavior. An Introduction to Community Based Social Marketing, Tenth printing. Canada: New Society Publishers.

McKenzie, M. D. (2000). Promoting Sustainable Behavior: An Introduction to Community-Based Social Marketing. Journal of Social Issues, 56, 543-554. Meinhold, J. L. &

Malkus, A. (2005). Adolescent environmental behaviors. Can Knowledge, Attitudes, and Self-Efficacy Make Difference? Environment & Behavior, 37, 511-532.

Milbrath, L. W. (1995). Psychological, Cultural, and International Barriers to Sustainability. Journal of Social Issues, 51, 101-120.

Nixon, H. & Saphores, J. (2009). Information and the decision to recycle: results from a survey of US Households. Journal of Environmental Planning and Management, 52, 257–277.

Olivari, C. y Urra, E. (2007). Autoeficacia y conductas de salud. Ciencia y Enfermería, 13, 9-15.

Pajares, F., & Miller, M. D. (1994). The role of self-efficacy and self-concept beliefs in mathematical problem-solving: A path analysis. Journal of Educational Psychology, 86, 193-203.

Pieters, R. (1991). Changing garbage disposal patterns of consumers: motivation, ability and performance. Journal of Public Policy & Marketing, 10, 56-76.

Robles, S. E. (2003). Estrategias de intervención conductual en la preservación del ambiente. En Irigoyen, J. J., Jiménez, M. Y., Valenzuela, B. A. y Acuña, K. F. La investigación psicológica en Sonora. Antología de artículos (1987-2003). Revista Sonorense de Psicología, Hermosillo, Sonora, México: UNISON.

Schultz, P. W., Oskamp, S. & Mainieri, T. (1995). Who recycles and when? A review of personal and situational factors. Journal of Environmental Psychology,15, 105–121.

Simmnos, D. A., Talbot, J. F. & Kaplan, R. (1984-1987). Energy in daily activities: Muddling toward conservation. Journal of Environmental Systems, 14, 147- 155

Suárez, R. E., Hess, S., y Martínez-Torvisco, J. (1997). Estructura de la conducta ecológica responsable mediante el análisis de la teoría de facetas. Revista Psicología Social aplicada, 7, 97-112.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales ([SEMARNAT], 2008). Programa Nacional para Prevención y Manejo Integral de los Residuos, 2009-2012. Recuperado el 15 de marzo de 2009 de http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Publicacion/ SEMARNAT%2Resumen%20Ejecutivo% 2009.pdf

Stern, P. C. (2000). Toward a coherent theory of environmentally significant behavior. Journal of Environmental Issues, 56, 407-412.

Vining, J. & Ebreo, A. (1990). What´s makes a recycler? A comparation of recyclers and non recyclers. Environment & Behavior, 22, 55-73.

Vinning, J., Linn, N. & Budge, R. J. (1992). Why recycle?

A comparison of recycling motivation in four communities. Environmental Management, 16, 785-797.

Young, Ch. & Witter, A. (1994). Developing Effective Brochures for Increasing Knowledge of Environmental Problems: The Case of the Gypsy Moth. Journal of Environmental Education, 25, 27-34.

EVALUACIÓN DE BARRERAS PARA LA GENERACIÓN DE CONDUCTA PROAMBIENTAL DE SEPARACIÓN DE RESIDUOS

José Marcos Bustos Aguayo[1]
Cristina Barrientos Durán[2]
Luz Ma. Flores Herrrera[3]
Elizabeth López Carranza[4]
Universidad Nacional Autónoma de México
México, Distrito Federal
bustosam@yahoo.com

3er encuentro de expertos en RESIDUOS SÓLIDOS
9, 10 y 11 Junio 2010

[1] Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. bustosam@yahoo.com
[2] Facultad de Psicología UNAM. cristina2902@gmail.com
[3] Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. lucy_fh@yahoo.com
[4] Facultad de Psicología UNAM. elopezcarranza@gmail.com

Resumen

Para desarrollar un programa efectivo se necesita comenzar con la identificación de las barreras en torno a la conducta a promover. La noción de barrera señala las condiciones que inhiben la ejecución de una acción por parte de un individuo y pueden ser internas (e.g. ausencia de conocimiento o compromiso) o externas al mismo (e.g. falta de apoyo institucional o de infraestructura) (Stern y Oskamp, 1987), además pueden variar de una comunidad a otra. Para implementar una estrategia adecuada para eliminarlas un primer paso es el identificarlas (Bustos, Flores y Villegas, 2006). El presente trabajo tuvo como finalidad principal el desarrollar un instrumento válido y confiable que permitiera evaluar que tanto eran percibidos como barreras para la ejecución de la conducta de separación de residuos una serie de elementos, los cuales fueron evaluados a través de una escala. De manera no aleatoria e intencional se aplicó la escala a 162 habitantes de la ciudad de México, cuyas edades fluctuaron entre los 17 y los 69 años de diversos niveles socioeconómicos y educativos. Se obtuvieron tres factores, el primero de ellos constituido por 4 reactivos referidos a variables relacionadas al hogar, el segundo con 7 reactivo referido a barreras internas al individuo, tales como falta de conocimiento y disposición, y el tercero se conformó de 7 reactivos que referían factores externos tales como falta de espacio e infraestructura. La confiabilidad total del instrumento fue de α =.869.

Palabras clave: Psicología ambiental, conducta proambiental, barrera interna, barrera externa, intervención

Abstract

Several studies indicate the relevance of consider the situational factors that are present in a given context during the promotion of specific environmental actions. The first step to develop an effective environmental program is to identify the facilities and after all barriers for the occurrence of the behavior to promote (Bustos, Flores & Villegas, 2006). The notion of barrier refers the conditions that inhibit the execution of individual or social environmental behavior; they can be internal or external and can vary from one community to another. The objective of the present work was to develop an instrument valid and consistent for the evaluation of barriers for the execution of the recycling behavior. The scale was filled by a non random sample of 162 habitants of the Mexico City, with 29 years old, 12 years of scholarship and $6,000 on average. The overall scale reliability was α=.869. Three factors were obtained; the first includes 4 items related to home barriers for recycling like lack money buying special containers, or lack containers in the market, while second factor includes 7 items related with internal barriers like lack of knowledge and motivation, and third factor with 7 items was about external conditions like absence of infrastructure and the perception of benefit only for the industry. It was concluded the scale is useful for the identification of internal and external barriers of recycling behavior and can be viewed as a relevant tool for the diagnostic phase in proenvironmental interventions.

Keywords: Environmental psychology, proenvironmental behavior, internal barrier, external barrier, intervention.

I. INTRODUCCIÓN

Para hacer frente al problema de los desechos desde una perspectiva psicosocial, se han analizado una gran cantidad de variables, las cuales han sido abordadas en diferentes contextos y desde diferentes enfoques. El área de estudio de la psicología ambiental denominada conducta proambiental ha abordado ampliamente este fenómeno, interesándose fundamentalmente en los factores que pueden contribuir en su promoción. Este clase de acción humana es de efecto directo y/o indirecto sobre el medio, que tiene como finalidad disminuir, evitar, e idealmente revertir, el deterioro de los recursos del ambiente natural que sustentan la vida en la Tierra (Bustos, Flores y Andrade, 2004). La conducta proam-

biental se define como un tipo de conducta deliberada, dirigida y competente (Corral, 2001) que culmina en una acción que preserva o protege el ambiente (Hernández, Suárez y Martínez, 1997) de forma individual o colectiva (De Castro, 2002) y abarca diferentes tipos de acciones ecológicas (Stern, 2000), siendo una de las más estudiadas la separación de residuos o reciclado.

Para la promoción de la separación de residuos se han ideado y probado numerosas estrategias con diferentes grados de efectividad. Sin embargo, sigue vigente la necesidad de encontrar aquellos elementos que puedan enriquecer la planeación e implementación de más y mejores tácticas de intervención que puedan ser aplicables en los diversos contextos en los que se desenvuelve el ser humano.

Según Corral y Zaragoza (2000) las variables en torno a esta conducta pueden agruparse en características demográficas, tendencias psicológicas y variables situacionales.

Específicamente, para que las personas participen y se sientan motivadas para realizar acciones proambientales necesitan encontrar en su entorno las condiciones necesarias que les faciliten la ejecución de dichas tareas, por lo que un aspecto relevante de la investigación psicosocial es el evaluar las posibles barreras o limitaciones a las que se enfrentan los individuos a la hora de querer realizar una acción de protección al ambiente y que por lo tanto puedan inhibir su involucramiento (McKenzie y Smith, 1999; McKenzie, 2000; Milbrath, 1995).

En este contexto, el concepto de barrera señala las condiciones específicas que inhiben la ejecución de una acción (Bustos, documento no publicado). Así, la identificación de las barreras reportadas por los individuos sería el primer paso para su eliminación. Blake (1999) identifica tres grupos de barreras para la acción que se derivan de la individualidad, responsabilidad y practicabilidad, las barreras individuales tienen que ver con la actitud y el temperamento, la falta de responsabilidad deriva de que las personas no sienten que pueden influir en la situación o piensan que no pueden tomar la responsabilidad de hacerlo, así como la falta de confianza en las instituciones y, por último en las cuestiones prácticas refieren las restricciones sociales e institucionales que impiden que la gente actúe proambientalmente, sin considerar su actitud o intención.

Schultz, Oskamp y Manieri (1995) dividen a las barreras en situacionales y personales, refiriéndose a su condición de externas o internas al individuo; el estudio de las variables situacionales o externas se centra en la identificación de aspectos manipulables del ambiente que pueden facilitar la conducta, mientras que en las internas lo que se busca es el describir ciertas características de los individuos y su posible asociación con la conducta de separación.

Entre las barreras externas reportadas para la conducta de separación y reciclado reportadas en la investigación se encuentran: a) la falta de contenedores y acceso a los mismos (Barr, 2004; Barr, 2007; Bustos, 1999; Vinning y Ebreo, 1990), b) la ausencia de espacio disponible para depositar los residuos ya separados (Corral, 2001b; Gamba y Oskamp, 1994; Vinning y Ebreo, 1990), c) la disponibilidad de tiempo (McKenzie, 2000), d) el elevado número de habitantes en el lugar (Barr, 2004; Barr, 2007) y, e) el uso inadecuado de los contenedores de separación (McBean, Gondim, y Rovers, 2007), entre otras. Una de las barreras internas que más influye para que no se realice la conducta de separación de residuos es la falta de conocimiento referido a la separación adecuada, (Schultz, Oskamp y Manieri, 1995; De Young, 2000, 1993; 1986; Vinning, Linn y Budge, 1992; Young y Witter, 1994).

Dahle y Nimayer (2001) realizaron una investigación que tuvo por objetivo el identificar cuá-

les eran las barreras a las que se enfrentaban cinco instituciones de educación superior del Reino Unido para desarrollar las acciones sustentables de manejo responsable de residuos sólidos, para ello realizaron una serie de entrevistas a estudiantes, académicos y administrativos y clasificaron los resultados en: 1) financieras, falta de recursos económicos y falta de remuneración monetaria tangible, 2) conocimiento, que englobaba la falta de educación y conocimiento ambiental, sobre todo por parte de los docentes; 3) culturales, ausencia de actitud ambiental por parte de la comunidad universitaria y, 4) urbanas, referidas a la ausencia de espacio y disponibilidad para el acopio de los residuos sólidos, así como para la construcción de edificios sustentables.

El Departamento de Protección Ambiental de Massachusetts (Massachusetts Department of Environmental Protection, 2002) realizó un inventario en el que evaluó las barreras y oportunidades para promover el reciclado en unidades habitacionales de Estados Unidos y concluyeron que entre las principales barreras para el éxito de los programas de separación de residuos se encontraban: la diversidad de culturas e idiomas de los habitantes de estos lugares, lo cual a su vez dificultaba la elaboración de materiales de difusión y educativos; la falta de infraestructura que tenía que ver con los recipientes diferenciados para los desechos, los camiones recolectores, los sitios de disposición final, la distancia de los contenedores, etc.; la falta de educación ambiental y el desinterés por parte de la población; así como la falta de claridad de los programas del gobierno, sobre todo en lo referente a las tarifas.

Bustos, Flores y Villegas (2006) realizaron un estudio con la finalidad de explorar las facilidades y barreras reportadas por un grupo de gente de entre 15 y 85 años de edad con respecto a la realización de diversas conductas proambientales, entre las que se encontraba la separación de residuos. Así se aplicó un cuestionario a 443 personas (243 mujeres y 200 hombres) residentes de diversas delegaciones y municipios de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Al preguntárseles sobre las razones de por qué no realizaban alguna acción de protección ambiental las personas señalaron en primer lugar el desconocimiento (31.8%), la falta de tiempo (27.3%), el que nadie más lo hace (18.2%), la apatía (9.1%), la falta de costumbre (4.5%), la percepción de que no hay nada que hacer (4.5%) y el que tenían alguna enfermedad (4.5%). Al evaluar específicamente las barreras que percibían los individuos para separar sus residuos reportaron en primer lugar que ninguna (35.4%), seguida de la falta de promoción y participación (18.5%), más de una causa (18.5), la falta de educación y cultura (12%), el incumplimiento del programa de separación (10.4%), el horario de recolección de los residuos (.7%) y otras (.7%) y concluyeron que aunque las personas se encontraban dispuestas y en muchos casos ya realizaban conductas proambientales señalaban la necesidad de desarrollar acciones de promoción y educación y que una variable importante a considerar era la falta de tiempo por parte de los individuos.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue desarrollar una escala que evalúe las barreras internas y externas que percibe el individuo para efectuar las acciones de separación de residuos sólidos, así como determinar las características psicométricas de la misma (validez y confiabilidad).

II. MÉTODO

Muestra

La muestra del estudio estuvo constituida por 162 personas, 76 hombres y 85 mujeres de entre 17 y 64 años de edad, con una media de edad de 29 años, todos ellos habitantes del Distrito Federal y cuyo ingreso promedio mensual familiar fue de $6, 079. El tipo de muestreo fue no probabilístico.

Procedimiento

La escala se conformó de tres secciones referentes a áreas para identificar barreras: el hogar, con 4 reactivos, personales, con 9, y el contexto, con 8 reactivos, todos con cuatro opciones de respuesta (demasiado, regular, poco, nada). Se completó la información con preguntas sobre edad, sexo, escolaridad e ingreso familiar mensual. El instrumento se aplicó de manera individual a personas que desearan participar en la investigación. Se les abordo explicándoles el motivo de la investigación y la importancia de su participación, una vez que aceptaban se les daban las siguientes instrucciones: "Se está realizando una investigación que tiene por objetivo conocer aspectos relacionados con las razones para cuidar o no el ambiente, por favor lea detenidamente las instrucciones y responda de manera sincera. Si existe alguna duda, por favor hágamela saber. Gracias". Los análisis de datos se realizaron mediante el paquete estadístico SYSTAT 12.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primero se realizó un análisis factorial de componentes principales con rotación varimax, arrojándose una estructura de tres factores que explican el 56.3% de la varianza total. El alfa de consistencia interna total, como indicador de la confiabilidad de la medida, fue de .869.

En la tabla 1 se describen los tres factores resultantes que conformaron la escala de barreras; el primero denominado "inconvenientes para la separación en el hogar" estuvo conformado por 4 reactivos y en él se agruparon situaciones referidas a que en el mercado o tienda no se tengan a la venta botes de diferente color para la separación de residuos sólidos en el hogar, falta de espacio para tener al menos dos botes para separar residuos, falta de dinero para comprar botes especiales de separación y el hecho de que los residuos orgánicos producen mal olor si se almacenan durante mucho tiempo. El segundo factor estuvo constituido por 7 reactivos y se le denominó "barreras internas para la separación" ya que en él se conjuntaron aquellas situaciones referidas a agentes de índole personal, tales como la ausencia de conocimiento acerca de la diferencia entre los residuos orgánicos e inorgánicos, falta de disposición para realizar la separación de los residuos sólidos, falta de tiempo para separar los residuos en botes diferentes y de conocimiento sobre los problemas ambientales; así como la resistencia para cambiar los hábitos o costumbres que se tienen para desechar la basura y el desinterés de los miembros de la familia para separar los residuos.

Por último, el tercer factor, se constituyó por 7 reactivos y se nombro "barreras situacionales para la separación de residuos" ya que aquí se concentraron los aspectos referidos a aspectos externos al individuo como el inadecuado trabajo de recolección por parte de las personas que realizan el servicio de limpia, insuficiencia de camiones que permitan realizar una recolección separada, ausencia de educación ambiental y cultura sobre cuestiones ambientales, así como deficiente información sobre el programa de separación de residuos sólidos e insuficiencia de lugares específicos (rellenos sanitarios) para colocar los residuos sólidos ya separados e infraestructura para llevar a cabo el reciclaje de los residuos sólidos.

Tabla 1. Factores que conforman la escala de barreras para la separación de residuos

Factor	% varianza explicada	Alfa	Reactivos
1	21.045	0.695	Que el mercado o tienda no tenga a la venta botes de diferente color para la separación de residuos sólidos en el hogar
			Falta de espacio para tener al menos dos botes para separar residuos
			Falta de dinero para comprar botes especiales de separación
			Que los residuos orgánicos producen mal olor si se almacenan mucho tiempo
2	19.123	0.848	Falta de conocimiento de las personas de lo que es un residuo orgánico e inorgánico
			Falta de disposición para realizar la separación de los residuos sólidos
			Falta de tiempo para separar los residuos en botes diferentes
			Falta de conocimiento sobre los problemas ambientales
			Resistencia para cambiar los hábitos o costumbres que se tienen para desechar la basura
			Desinterés de los miembros de la familia por separar los residuos
3	13.470	0.819	Trabajo de recolección inadecuado por parte de las personas que realizan el servicio de limpia
			Falta de camiones que permitan realizar una recolección separada
			Falta de educación ambiental
			Falta de cultura sobre las cuestiones ambientales
			Falta de información sobre el programa de separación de residuos sólidos
			Falta de lugares específicos (rellenos sanitarios) para colocar los residuos sólidos ya separados
			Falta de infraestructura para llevar a cabo el reciclaje de los residuos sólidos

La media total de la muestra fue de 3.09 y una desviación estándar .5368. Los puntajes medios por factor fueron de: M=2.761 para el denominado "inconvenientes para la separación en el hogar", M=3.040 "barreras internas para la participación" y una M=3.3273 para el componente "barreras situacionales para la separación de residuos (ver figura 1).

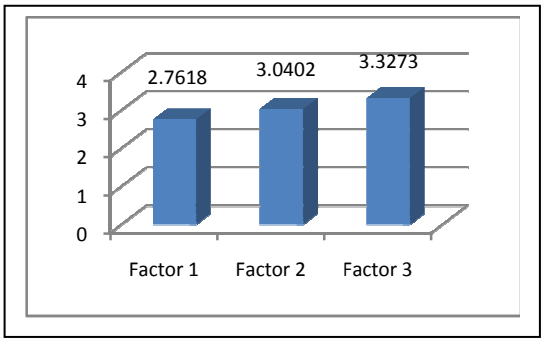


Figura 1. Puntajes escalares medios por factor.

Se evaluaron los puntajes medios obtenidos por hombres y mujeres y sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el factor 1 "inconvenientes para la separación en el hogar", en donde fueron las mujeres quienes reportaron una mayor percepción de barreras (M=2.776, desviación estándar .667) que los hombres (M=2.748, desviación estándar .857), ver figura 2.

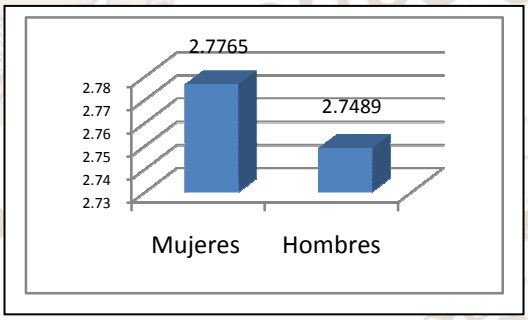


Figura 2. Puntajes medios por sexo en el factor 1.

CONCLUSIONES

La escala resulto válida y con valor de consistencia interna adecuada lo que posibilita su empleo en estudios posteriores. Permite identificar

barreras que la gente considera importantes para la realización de acciones de separación de residuos en contextos inmediatos a la persona como la casa y la colonia. De la propuesta original de reactivos, se eliminaron tres que no rebasaron el nivel mínimo establecido de la carga factorial (.300), asimismo, la congruencia conceptual de los reactivos por factor está justificada pues aluden al mismo tipo de barrera en forma clara. Con la elaboración de la escala de identificación de barreras para la separación de residuos (EIBRS) se inicia un proceso de construcción de medidas similares aplicables a un número de personas mayor y de diferentes características. De acuerdo a los resultados, las barreras señaladas para la separación de los residuos confirman en esencia lo encontrado previamente (Bustos et al, 2006) respecto a señalar la falta de conocimientos ambientales, no tener tiempo para separar, y falta de motivación y promoción. No obstante, nuevos hallazgos amplían el cuadro inicial: la diferencia significativa por sexo en las barreras referidas al hogar (factor 1) remiten a una posible percepción por género que implica mayor dificultad para realizar la separación vista por las mujeres que por los hombres entrevistados, cuestión que deberá seguirse analizando en un nuevo trabajo ya que se ha encontrado en residentes de la Ciudad de México que las mujeres reportan realizar más acciones proambientales que los hombres, incluyendo la de separación de residuos sólidos (Bustos y Flores, 2006). Entonces si perciben más barreras posiblemente es porque intentan y/o efectúan con mayor frecuencia las acciones. Una cuestión adicional interesante es que como ya se señaló la identificación de las barreras es un paso indispensable si se desea promover la acción proambiental, pero a su vez este aspecto nos lleva a considerar la cuestión de la importancia relativa asignada por la persona a cada clase de barrera. En el caso de la muestra de participantes que respondió a la escala del presente trabajo, el hecho de que existan diferencias en los puntajes escalares de los tres factores, sugieren que el acento para participar en la separación de residuos se inclina hacia los factores contextuales en mayor proporción que en los del hogar y personales. Esto sugiere que en futuras investigaciones habrá de verificarse la importancia relativa de las dimensiones interno y externo de las barreras respecto a una participación sostenida en las acciones de separación de residuos. ¿Cuáles barreras son más importantes para las personas a la hora de indicar porqué realizan o no la conducta de separación? El desarrollo de programas de intervención habrá de tener mejor respaldo si se consideran más a detalle estas cuestiones. De cualquier forma, la identificación de barreras para la conducta es un paso esencial para el proceso de promoción de las acciones de conservación que se proponen los programas de intervención ya sea que se efectúen como campañas educativas, mensajes masivos, talleres de formación en competencias proambientales, entre otros.

REFERENCIAS

Barr, S. (2004). Are we all environmentalists now? Rhetoric and reality in environmental action. Geoforum, 35, 231–249.

Barr, S. (2007). Factors Influencing Environmental Attitudes and Behaviors. A U.K. Case Study of Household Waste Management. Environment and Behavior, 39, 435-473.

Blake, J. (1999). Overcoming the ´value-action´ in environmental policy: tensions between national policy and local experience. Local Environment, 4, 257-278.

Bustos, A. M. (1999). Estrategias conductuales antecedentes para el fortalecimiento de la separación de residuos sólidos reciclables en FES Zaragoza. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Bustos, A. M. (documento no publicado). Identificación y evaluación de barreras para comportarse proambientalmente. Proyecto PAPIIT IN 306508, UNAM

Bustos, A. M. y Flores, H. L. (2006). Obligación de cuidar los recursos ambientales y actitud relacionadas con tres tipos de conducta proambiental. La psicología Social en México XI, 676-683.

Bustos, A. M., Flores, H. L. y Andrade, P. P. (2004). Predicción de la conservación de agua a partir de factores socio-cognitivos. Medio Ambiente y Comportamiento Humano, 5 (1 y 2), 53-70.

Bustos, A. M., Flores, H. L. y Villegas, Z. P. (2006). Facilidades y barreras para realizar la conducta proambiental. En Corraliza, J. A., Berenguer, J. y Martín, R. (2006). Medio Ambiente, Bienestar Humano y Responsabilidad Ecológica. España: Gráficas Monterreina.

Corral, V. V. (2001a). Comportamiento proambiental: Una introducción al estudio de las conductas protectoras del ambiente. México: Resma.

Corral, V. V. (2001b). Variables disposicionales, situacionales y demográficas en el reciclaje de metal y papel. Medio Ambiente y Comportamiento Humano, 2, 1-19.

Corral, V. V. y Zaragoza, D. (2000). Bases sociodemográficas y psicológica de la conducta de reutilización: un modelo estructural. Medio Ambiente y Comportamiento Humano, 1, 9-29.

De Castro, R. (2002). ¿Estamos dispuestos a proteger nuestro medio ambiente? Intención de conducta y comportamiento proambiental. Medio Ambiente y Comportamiento Humano, 3, 107-118.

Dahle, M. & Neumayer, E. (2001). Overcoming barriers to campus greening. A survey among higher educational institutions in London, UK. International Journal of Sustainability in Higher Education, 2, 139-160.

De Young, R. (1986). Encouraging environmentally appropriate behavior: The role of intrinsic motivation. Journal of Environmental Systems, 15, 281 - 292.

De Young, R. (1993). Changing Behavior and Making Stick. The Conceptualization and Management of Conservation Behavior. Environment & Behavior, 25, 485-505.

De Young, R. (2000). Expanding and Evaluating Motives for Environmentally Responsible Behavior. Journal of Social Issues, 56, 509-526.

Gamba, R. J. & Oskamp, S. (1994). Factors influencing community residents' participation in commingled curbside recycling programs. Environment & Behavior, 26, 587–612.

Hernández, S., Suárez, E. y Martínez, T. J. (1997). Estructura de la conducta ecológica responsable mediante el análisis de la teoría de facetas. Revista de psicología social aplicada, 7, 97-112.

Massachusetts Department of Environmental Protection (2002). Barrier/Best Practices Inventory #1. Multifamily Recycling: Barriers and Opportunities Massachusetts Department of Environmental Protection. Recuperado el 07 de febrero de 2010, de http://www.mass.gov/dep/recycle/reduce/mfambopp.pdf

McBean, E., Gondim, F. & Rovers, F. (2007). Constrains and opportunities influencing recycling rates in some developing. Journal of Solid Waste and Management, 33, 16-24.

McKenzie, M. D. (2000). Promoting Sustainable Behavior: An Introduction to Community-Based Social Marketing. Journal of Social Issues, 56, 543-554.

McKenzie, M. D. & Smith, W. (1999). Fostering Sustainable Behavior. An Introduction to Community-Based Social Marketing, Tenth printing. Canada: New Society Publishers.

Milbrath, L. W. (1995). Psychological, Cultural, and International Barriers to Sustainability. Journal of Social Issues, 51, 101-120.

Schultz, P. W., Oskamp, S. & Mainieri, T. (1995). Who recycles and when? A review of personal and situational factors. Journal of Environmental Psychology,15, 105–121.

Stern, P. C. (2000). Toward a coherent theory of environmentally significant behavior. Journal of Environmental Issues, 56, 407-412.

Vining, J. & Ebreo, A. (1990). What´s makes a recycler? A comparation of recyclers and non recyclers. Environment & Behavior, 22, 55-73.

Vinning, J., Linn, N. & Budge, R. J. (1992). Why recycle? A comparison of recycling motivation in four communities. Environmental Management, 16, 785-797

Young, Ch. & Witter, A. (1994). Developing Effective Brochures for Increasing Knowledge

3er *Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos*

9, 10 y 11 Junio, 2010

3er encuentro de expertos en

9, 10 y 11 Junio 2010

RESIDUOS SÓLIDOS

10ª SEMANA DEL AMBIENTE

11° FORO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"Centro Juvenil de promoción ambiental "Acohuetzi" una estrategia de atención al manejo de los residuos sólidos"

Mtra. Irma P. Juárez González. Lic. Mario Paz Maldonado y Jorge Antonio Aguilar.
Universidad Autónoma Metropolitana.
México Distrito Federal
Alternativas de Divulgación, A.C.
email:ipjg@correo.azc.uam.mx

Resumen

Afrontar la realidad desde una perspectiva interdisciplinaria, para descubrir la complejidad de los entramados socioeconómicos frente a los retos que plantea la sustentabilidad con los procesos de reconversión productiva.

El proceso para consolidar la reconversión productiva como es el caso de San Rafael, Tlalmanalco, Estado de México requiere de la educación ambiental como una manera inherente para el cambio de prácticas y hábitos. Hábitos que históricamente se han contrapuesto con el desarrollo sustentable que propone el equilibrio como un importante factor en el entorno natural, es decir, el equilibrio de la región conocida también como Sierra Nevada. A través de su historia, sus principales actividades económicas han sido: la siembra de maíz, y la producción de papel con la instalación de la Fábrica de papel San Rafael. En esta zona se están produciendo profundos cambios, políticos, sociales, culturales y económicos, derivados del acelerado crecimiento de la mancha urbana y degradación ambiental. Sin embargo esta región provee de importantes servicios ambientales a la Ciudad de México y al Área Metropolitana.

El trabajo entre la Universidad Autónoma Metropolitana y la participación comunitaria en la región ha permitido que el tema ambiental permanezca en el centro de la discusión. Es así que el desafío para los jóvenes y los niños de Tlalmanalco nos exigen una pronta atención frente a la acelerada depredación de los recursos naturales. Recursos naturales deteriorados, degradados y en extinción, con los que han vivido y son su referente cotidiano. La educación ambiental mediante un camino lúdico es nuestra herramienta para hacer el vínculo con la comunidad y el entorno natural, para lograr un manejo equilibrado de los recursos naturales, que contrarreste la pobreza y mejore la calidad de vida de sus familias.

Abstract

Facing the Facts from an interdisciplinary perspective, for discovering the complexity of socio-economic frameworks, address the challenges of sustainability with the redirection of production processes.

The process to consolidate the redirection productive as in the case of San Rafael, Tlalmanalco, State of Mexico requires environmental education as an activity inherently to change practices and habits. Habits that have been historically opposed with the sustainable development, which proposed the balance as an important factor in the natural environment, i.e. the balance of the region known as Sierra Nevada. Throughout its history, its main economic activities are: the planting of corn, and paper production with the installation of the San Rafael Paper factory. In this area, political, social, cultural and economic changes are happening continuously in order to the high growth of urban sprawl and environmental degradation. However, this region provides important environmental services to Mexico City and the metropolitan area.

The work of the Universidad Autonoma Metropolitana and the community involvement in the region, has allowed the environmental issue remains at the core of the discussion. Thus the challenge for young people and Tlalmanalco's children require our immediate attention compared to the rapid depletion of natural resources. Natural resources damaged, degraded and extinction danger, with those who have lived are its daily reference. Environmental education through a fun way is our tool to establish the link with the community and the natural environment, to achieve a balanced management of natural resources,

to diminish the poverty and improve the life quality for their families.

I. INTRODUCCIÓN

"Imaginemos una ciudad donde antes de cumplir siquiera 20 años tienes todo en tu contra: padres sin educación, temerosos, moralistas y preocupados por sobrevivir a la miseria económica; delincuentes dispuestos a reclutarte; una cultura reducida a los vómitos recurrentes de la televisión; injusticias en todos los órdenes de la administración pública; y represión justo cuando deseas olvidar que has nacido en el centro de la nada (...) Qué absoluta incomprensión hacia los jóvenes, a sus titubeantes vicios, a su estar en el mundo a solas. Desde niño tiene uno que pensar e imaginar su propia vida, pero no es sencillo hacerlo cuando se vive rodeado de adultos infelices."

Guillermo Fadanelli

De esta forma la presencia del Programa Sierra Nevada-UAM es resultado de un proceso de veinte años de trabajo que responde a la urgente necesidad de planear de manera racional y equitativa el uso y conservación de los recursos naturales en la región. El eje sobre el cual se han dado la diversidad de proyectos de investigación, docencia y servicio social de la UAM; ha sido la identificación, evaluación y reorientación de dinámicas críticas de manejo del agua, los recursos forestales, la biodiversidad, los suelos agrícolas y los residuos sólidos; en busca de lograr sistemas de manejo sustentables, mediante procesos continuos de construcción colaborativa de conocimientos y capacidades entre la universidad, las comunidades y los tres niveles de gobierno: municipal, estatal y federal

A este esfuerzo se ha sumado el del "Programa de Investigación Multidisciplinaria para un Desarrollo Sustentable" (PIMUDES), desde 2007 engloba proyectos particulares cuyo propósito es el delinear e incentivar alternativas de desarrollo sustentable en las comunidades donde se hacen las propuestas; así como lograr la continuidad en los quehaceres emprendidos años atrás; tanto con los habitantes de las localidades como con las autoridades municipales que expresan sus necesidades de apoyo. Ubicados dentro del programa de Sierra Nevada se encuentran el proyecto ecoturístico del Faro, en Tlalmanalco, Estado de México y el proyecto ecoturístico de Apatlaco, de los bienes comunales de Amecameca[1].

II.- La UAM a cargo de un área Natural Protegida.

El Estado de México es el de mayor número de Áreas Naturales Protegidas, en el país: cuenta con 77 (ANP)[2], que suman un total de 737,725.56 ha, que representan el 33.5% del territorio estatal[3]. Una de ellas es la Sierra Nevada[4], que con la colaboración de diversas Instituciones como: La Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (CEPANAF) y la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) inicia el 19 de noviembre de 1998 un proceso encaminado a consolidar el desarrollo sustentable en esa región, con la participación de habitantes y autoridades de los trece municipios que integran la región sureste del Estado de México[5].

Decretada por el Gobierno del Estado de México, el 8 de Agosto de 2003, como Área Natural Protegida con categoría de Parque Estatal[6]. El Parque Estatal "Cerro El Faro" y "Cerro de los Monos" son actualmente Sede de las actividades forestales

[1] Programa de apoyo a la Investigación Multidisciplinaria Acuerdo 13-2007. Junio 2007. Programa de Investigación Multidisciplinaria para un Desarrollo Sustentable (PIMUDES)

[2] Áreas Naturales Protegidas. El decreto de áreas naturales protegidas forma parte de las políticas de preservación de los recursos naturales ricos en biodiversidad, y responde también a las estrategias para enfrentar los problemas medioambientales, no obstante, es evidente que estas medidas han sido insuficientes para dar solución a los problemas crecientes de daño al medio ambiente.

[3] Luna, A. 2004. Programa de Conservación y Manejo del "Cerro El Faro e Isla de Monos". Versión preliminar. Universidad Autónoma Metropolitana. México.

[4] En el año de 1992, el área del "Cerro El Faro" y el "Cerro de los Monos" fue donada por la fábrica "Papeles de Calidad San Rafael, S.A. de C.V." al Gobierno del Estado de México con fines de conservación ecológica|

[5] Ixtapaluca, Chalco, Ecatzingo, Atlautla, Tepetlixpa, Ozumba, Juchitepec, Amecameca, Ayapango, Tlalmanalco, Cocotitlán, Temamatla y Tenango del Aire.

[6] Borrador: Parque Estatal Cerro el Faro y Cerro de los Monos, Programa de Conservación y Manejo. Sep. 2007.

y de biodiversidad del "Centro para la Sustentabilidad *Incalli Ixcahuicopa*" construido por la Universidad Autónoma Metropolitana en convenio con la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México y la Comisión Ambiental Metropolitana. En el contexto de la creación del "Centro para la Sustentabilidad Incalli Ixcahuicopa", el 28 de Junio de 2005 se firmó el convenio entre la Comisión Estatal de Parques Nacionales y de la Fauna y la UAM, para el saneamiento, recuperación, conservación, protección, uso y desarrollo sustentable de las áreas naturales protegidas "Cerro El Faro" y "Cerro de los Monos" con vigencia de 25 años.

Con este proyecto, la UAM-Azc en coordinación con autoridades y sociedad, pretende construir y consolidar procesos que enfrenten y solucionen los efectos nocivos al medio ambiente, resultado de las prácticas inadecuadas que se están realizando en las distintas localidades que abarca este proyecto. Lograr la conexión entre regiones se hace posible a través de una línea transversal de investigación acción que es el ecoturismo; vista como una actividad de reconversión productiva que busca la participación y consenso de sus pobladores y de sus autoridades, que permitan en un mediano plazo alentar procesos sostenibles no sólo de las Áreas Naturales Protegidas sino también de aquellas localidades que no están integradas a ellas.

En todas las regiones con las que trabaja PIMUDES la participación de la población en el desarrollo social, ha promovido una nueva visión del empleo, y mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones rurales. Las dimensiones económicas, sociales y ambientales del desarrollo como dice: Mayor Zaragoza"…están estrechamente relacionadas. Los modelos de crecimiento económico e industrialización que se han aplicado ponen en peligro los ecosistemas, tienden a agotar los recursos naturales no renovables y producen, al igual que el crecimiento demográfico acelerado, una degradación del medio ambiente"[7] que es tan común (2009). Tal es el caso para esta región de San Rafael, Tlalmanalco. Estado de México.

III.- Romper el círculo pobreza-deterioro ambiental.

La pobreza prevalece en colonias populares de San Rafael, que debido a la deficiencia de los servicios básicos contribuyen a la degradación de los ecosistemas, que cada vez más están en peligro de desaparecer por el acelerado crecimiento de la ciudad sobre los bosques que allí viven. Los excluidos están siendo forzados a sobrevivir en colonias de auto construcción, que en nada favorece su calidad de vida, más aun esta precariedad aunada la falta de un sistema de colecta pública de basura contribuyen a la contaminación de barrancas, ríos, arroyos, bosque, etc. Es así que estos pobladores asumen un papel doble: de causantes y víctimas de los problemas ecológicos.

Desde la Universidad a través del PIMUDES se ha tomado conciencia de la importancia que conlleva el que sus pobladores se reapropien de sus espacios, a través de eliminar la pobreza, el abandono, las carencias tanto físicas como las emocionales. La educación por tanto, se vuelve liberadora, como dice María Novo (2009): procede a una rápida "reapropiación del tiempo, es decir, tener tiempo para pensar, reflexionar, para inventar. Sólo de este modo haremos frente a la uniformización progresiva, a la gregarización, a comportarnos al dictado de decisiones que se adoptan por grandes instancias de poder y mediáticas[8]. Las políticas para el desarrollo sustentable darán pasos positivos en medida que todos los sectores de la sociedad, y especialmente las comunidades desde lo local participen en ellas.

La participación comunitaria es fundamental para la puesta en marcha de nuestro quehacer. La educación ambiental es otro de los ejes transversales

[7] Revista de Educación, Mayor Zaragoza. "Educar para un desarrollo sostenible" número extraordinario 2009.pp 32

[8] Ibíd. María Novo. pp 36.

y herramienta metodológica que ha permitido crear vínculos generacionales, entre los universitarios y la problemática a la que actualmente nos enfrentamos los que vivimos en alguna zona del Área Metropolitana, un lazo que vincula a los artistas con la comunidad de San Rafael, a los académicos y los actores sociales de la zona.

Para el PIMUDES la educación sobre el medio ambiente debe necesariamente desarrollarse en las escuelas primarias, secundarias, nivel medio superior y superior como materia de naturaleza interdisciplinaria. La inclusión del concepto desarrollo sostenible no sólo se reduce a la idea del medio ambiente. También debe responder y promover la adquisición de nuevos conocimientos, las capacidades desarrolladas a través de una metodología basada en proyectos transferibles a otras áreas como la música, el teatro, creación literaria, artes visuales, que facilitan el aprendizaje durante toda la vida.

Desde hace tres años, el acercamiento a jóvenes, niños y adultos de la región de la Sierra Nevada mediante los talleres de educación ambiental, nos significó un primer paso que se ha nutrido de nuevas necesidades y de retos planteados de manera conjunta. Lo anterior permite alentar un proceso de sensibilización, es decir, una nueva forma de sentir el entorno natural, no como un bien material inacabable, sino un recurso que nos asombra y del que podemos hacer uso responsable cuantas veces queramos porque éste no muere, solo se duerme de ciclo a ciclo para resurgir en el año venidero, y con las lluvias, de nuevo reverdecer.

IV.- La importancia de cuidar esta región.

La Ciudad de México y la Zona Metropolitana sufren la crisis más severa de abastecimiento de agua potable en estos años. La sobreexplotación de los mantos acuíferos que los proveen del vital líquido es tal vez, el principal problema; aunado a la contaminación de muchas de sus cañadas y barrancas. Hoy los bosques, fuentes principales de recarga han desaparecido, por incendios, contaminación, deforestación, y el acelerado crecimiento de la mancha urbana no sólo de San Rafael, sino de la mayoría de las comunidades rurales. Ésta región provee de indispensables servicios ambientales para el norte de la Ciudad de México y municipios del Estado de México como son: Iztapaluca, Chalco, Netzahualcóyotl, entre otros. Hoy están en riesgo, si no se actúa para revertir, rescatar, conservar y preservar sus recursos naturales. La participación comunitaria y la universidad deben generar soluciones. Vínculos de conocimiento para contrarrestar los daños y el instrumento que ha encontrado el PIMUDES como ya se mencionó ha sido el ecoturismo y la educación ambiental como ejes de acción en el proceso de consolidación de un desarrollo sustentable, esto también de la mano del servicio social a través del "Proyecto Interdisciplinario para un Desarrollo Sustentable, en la región de Los Tuxtlas e Ixhuacán De los Reyes, Veracruz, (PIDESTI) que se apoya de profesores y alumnos de diferentes disciplinas, que permiten colaborar en un solo equipo para la realización de trabajo de campo.

V.- Tlalmanalco "lugar de tierra aplanada o nivelada"

El municipio de San Rafael está ubicado al sureste del Estado de México. Limita al este con el estado de Puebla, siguiendo la línea del parteaguas occidental del volcán Iztaccíhuatl; al norte con los municipios de Chalco, Ixtapaluca y Cocotitlán, al oeste con el municipio de Temamatla y al sur con los municipios de Tenango del Aire, Ayapango y Amecameca. La superficie total del municipio es de 158.76 km2, la cual representa el 0.743% de la superficie del Estado de México.[9] Tlalmanalco forma parte de la subcuenca del río de la Compañía y está constituido por nueve arroyos, un lago y siete acueductos. Una parte de las aguas de los manantiales de La Peña se almacenan y se canalizan para abastecer de agua pota-

[9] http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/mexico/mpios/15103a.htm

ble al municipio de Tlalmanalco. La cañada de Nahualac o arroyo Tlalmanalco, nace de los deshielos del glaciar Ayolotepito, sigue su curso, reuniéndose con las cañadas El Negro y La Ratonera, para dar lugar a la cascada de los Diamantes, de 144 metros de altura. En las afueras del poblado de San Rafael, donde se encuentra lo que se conoce como arroyo de Agua Dulce, cuyas aguas se canalizan por un acueducto que llega hasta Tlalmanalco. En el municipio se cultiva: trigo, haba, maíz y papa. La agricultura mayoritariamente es de temporal y permanentemente de frutales leñosos.

VI.- Problemática

¿Desde cuándo vivimos en crisis? ¿Cómo es que sobrevive la gente? México tiene problemas de nutrición, agua, salud, medio ambiente, paz. El deterioro ambiental y la pobreza son nuestros desafíos. La calidad de vida de los más pobres se deteriora a causa del hambre y la pobreza, pero también la calidad de vida de los más ricos está comprometida por el cambio climático, la crisis económica y los problemas sociales que contribuyen a la seguridad y certidumbre de la sociedad, no sólo en México y sus distintas regiones, incluso en otras partes del mundo.

En casi 20 años, el crecimiento poblacional de Tlalmanalco ha ido en aumento, con una tasa anual de aproximadamente 3.1%. En la década de los 80s, un proceso de urbanización acelerada en San Rafael, acompañó el declive de la fábrica de Papel San Rafael como factor de ordenamiento. Con ello se desató un proceso de expansión urbana caótica sobre los cerros boscosos que rodean a San Rafael, afectando a la Reserva Ecológica «El Faro», y los ejidos de San Juan Atzacualoya, Santo Tomás y Tlalmanalco.
Durante la última década, el área boscosa, que ahora se designa como Parque Estatal "Cerro El Faro" y "Cerro de los Monos" ha perdido aproximadamente el 30% de su masa forestal debido a actividades depredadoras, incluyendo tiraderos clandestinos de basura, incendios provocados, la tala, asentamientos irregulares y el avance del gusano descortezador. La salud de la masa arbórea se ve seriamente dañada, así como el suelo. Los incendios que se presentan en la época seca del año, provocan una gran pérdida de organismos de reciente reforestación, así como de árboles adultos.

El municipio de Tlalmanalco fue determinante en la organización de la economía regional, por el establecimiento de la Fábrica Papelera San Rafael y Anexos. La fábrica se instaló en una región con abundante materia prima en la década de los cincuenta que fue la más importante de Latinoamérica en esa época. San Rafael es principalmente forestal, con zonas urbanas en expansión sobre suelos agrícolas arenosos y formaciones geológicas altamente permeables, aptos para programas de uso agrícola; como vía de infiltración. Sus bosques son vitales para la captura del carbono, función indispensable para revertir el proceso de calentamiento global a nivel nacional, regional y local.

Ésta región es zona de recarga de agua: 510 millones de m3 al año para el Acuífero Chalco – Xochimilco. Fuente del 66% del agua subterránea del Acuífero Metropolitano del Valle de México. Zona de captura de carbono y generación de oxígeno. Captura 1, 137,009 toneladas de carbono al año. Produce oxígeno para 10 millones de personas.[10] Y por supuesto, un lugar con bellos paisajes que recrean y maravillan a cualquiera que no ha perdido la capacidad de asombro en el momento de caminar entre sus bosques engalanados de los volcanes Popocatépetl e Iztaccíhuatl.

VII.-Por nuestra vida, los bosques, nuestro pueblo…. Por un camino de todas y todos para el desarrollo sustentable.

El problema ambiental es considerado como un problema de la relación humana con su entorno natural. En esa medida el producir un cambio de

[10] Opt. Cit.

conciencia debería conducir por sí mismo al cambio de actitud social, cultural y material con el entorno. La crisis ambiental permea a todo el mundo. Sin embargo, la configuración social, cultural, económica y política de San Rafael, Tlalmanalco, es muy particular y compleja.

En nuestro proyecto la educación contribuye a mitigar los efectos negativos de la globalización económica al fomentar en niños, jóvenes y adultos un cambio de mirada. Este cambio con respecto a la comprensión intelectual del mundo, pone el énfasis en la reivindicación de los espacios sensoriales para el respeto por la diversidad y el reconocimiento e inclusión de las diferencias. Además nos exige incorporar a la naturaleza al proceso formativo de construcción de la identidad y de pertenencia a la comunidad. El respeto por ésta última y por tanto a nosotros mismos y al entorno.

Desde hace tres años tanto el PIDESTI como el PIMUDES han comenzado a colaborar en sensibilizar, es decir, despertar la capacidad de asombro ante la belleza inigualable de un paisaje de rica diversidad de ecosistemas y recursos naturales. Los bosques en ésta región significan el aseguramiento de la manutención de agua potable para la Ciudad y Zona Metropolitana.

Las imágenes de los niños jugando en las barrancas matando ratas son escenas que se observan cotidianamente en las colonias populares, por carecer del sistema de limpia municipal. Lo anterior propicia, que las barrancas sean el lugar de la disposición final de la basura.

El PIMUDES y el PIDESTI, junto con los integrantes de la Asociación Civil: Alternativas de Divulgación se han propuesto como reto, que a través del arte y el juego se sensibilice a los alumnos de las escuelas y los pobladores de la región.

A través de múltiples encuentros, los jóvenes de San Rafael expresaron sus inquietudes sobre una visión de futuro, poco alentadora para ellos en la región, por lo que exigieron un espacio que les posibilitara hacer del arte una forma de expresión. Estos jóvenes que en su mayoría son los marginados por el entorno precario en el que se desenvuelven y que además son excluidos de su familia, del grupo de amigos, y de la escuela; muchos de ellos son tímidos pero con la inquietud de ser más sociables. Estos muchachos reivindican al arte como un derecho y necesidad de toda la humanidad a la que le corresponde la gratitud de vivir.

Así con el público que se encuentra en la calle, -pues la cultura no se refiere solamente a las galerías, a los teatros como los templos sagrados donde se cultivan las supuestas bellas artes- (Krotz) estos muchachos, artistas buscan como necesidad el compartir su palabra a través de los sentidos. De esta manera surgió la puesta en marcha del proyecto del Centro Juvenil para la Promoción ambiental "*Acohuetzi"*. Este espacio aglutina a un grupo de artistas que son jóvenes, adultos y niños integrados en un equipo de esta región que se propone convencer y sensibilizar a otros respecto a que se puede estar bien y tener calidad de vida si se cuenta con entornos naturales que nos provean de los indispensables servicios ambientales como: agua potable, aire limpio, paisaje materias primas, alimentos.

La esperanza de cambiar y apostar a un entorno alejado de una vida cada vez más gris y sucia, es el primer paso. Hay que visibilizar los problemas, pero que no sea el entorno contaminado y pobre algo socialmente aceptado. Que no sea normal presenciar la extinción de los bosques, selvas o cualquiera de los entornos naturales mientras se agravan los problemas por el acelerado crecimiento de la mancha urbana y su expansión sobre los bosques que se encuentran en el Valle de México.
En los jóvenes la sociedad ha depositado la esperanza aunque tiendan a ser menoscabados y subestimada su voz, clasificados ya sea por la desesperanza o la promesa de cambiar. Son vistos como la apuesta al futuro, el vínculo del desarrollo en épocas de crisis. "Somos una generación

que no sabe ni por tantito de un milagro mexicano" Por otro lado, se les percibe como la amenaza en el presente, al orden establecido. Actualmente la mayor parte de la población no sólo en México incluso en América Latina mayoritariamente es joven. Son cien millones de jóvenes que hoy habitamos el continente americano.[11] La pregunta en el proyecto PIMUDES ha sido ¿Cómo incluir a ese amplio sector de la población de nuestras sociedades al tema que tiene ver con su referente de vida, su memoria, su generación, etc.? Sin embargo, actualmente se espera mucho de ellos, pero a la vez se desconfía de los mismos significativamente y se les teme. La mejor muestra al respecto seguramente es la discriminación que sufren a todos los niveles, sin que sea percibida como un problema. En la actualidad los jóvenes vivimos en medio de una gran exclusión social aceptada.[12]

El periodo en el que vivimos, de cambios sociales, educacionales y tecnológicos tan acelerados hace inevitable, que padres, jóvenes y niños pertenezcan a diferentes visiones culturales acerca del entorno. Es decir, que poseen a la vez conceptos divergentes y comunes acerca de qué es lo importante y aceptable, aunque todos en su crecimiento hayan convivido en la misma comunidad geográfica. Esas diferencias son más marcadas por si éstos difieren mucho en sus usos y costumbres, debido por un lado, a la diferencia de edad, y por el otro por las diversas formas de aceptación y expresión de la nueva cultura.

La propuesta surge del tema ambiental y de la necesidad y exigencia de la participación comunitaria en San Rafael. PIDESTI capacita a los Prestadores de Servicio Social como un punto de encuentro donde los alumnos de diferentes disciplinas conviven, formando un equipo de trabajo que permite reflejar el compromiso de crear vínculos entre los estudiantes de escuelas primarias, secundarias y bachilleratos con una problemática que atañe a ellos y con el entorno ambiental, social, político y cultural en el que a través de los años ha convivido. Alternativas de Divulgación es un grupo de artistas, que ha dejado de lado, la falsa idea de que el arte sólo se encuentra en las galerías y centros de arte. El público puede ser cualquiera, y el escenario se improvisa, en medida de que el artista tiene la capacidad de hacer que toda la atención recaiga en él para atender un problema de la comunidad, que tiene que ver con el manejo integral de sus recursos naturales. Sin embargo, se combina con la educación cívica. La integración con personas diferentes. La habilidad de trabajar en equipo se desarrolla mediante el respeto y reconocimiento de las diferencias.

Desde inicios del 2008 se lleva a cabo el Proyecto piloto UAM-Azcapotzalco-Sierra Nevada-PIMUDES-Alternativas de divulgación A.C. para la formación de un Comité Juvenil para la región; que de manera general implementa herramientas de trabajo para fortalecer, tanto a los estudiantes, prestadores de servicio social del PIDESTI. Así como a las comunidades de San Rafael, Estado de México[13].

Durante las visitas efectuadas, en los talleres realizados, las encuestas levantadas, los juegos aplicados y la participación obtenida en las distintas visitas realizadas en la comunidad de San Rafael, pudimos constatar que la organización de la comunidad tiene varias aristas que hay que considerar si se quiere crear una organización sólida, eficaz y participativa que promueva, vigile y trabaje en función de la problemática particular de su región que para el caso que nos ocupa es lograr a mediano plazo un manejo integral de los residuos sólidos que involucre a las autoridades y los pobladores y a la universidad; lo anterior aunado a una visión general, del bien común de su población.

[11] Pieck Enrique (Coord) "Los jóvenes y el trabajo: La educación frente a la exclusión social. México.2001. p. 27.

[12] Ibid. P28.

[13] Proyecto Piloto UAM-Azcapotzalco-Sierra Nevada-Pidesti-Pimudes y alternativas de Divulgación A.C. Comité Juvenil par la Col. Solidaridad.

La experiencia obtenida con los trabajos realizados nos indica una pauta de trabajo a seguir que involucra a un sector de las comunidades que ha demostrado su interés y eficacia: los jóvenes entre 13 y 20 años han demostrado que este tipo de trabajo les interesa y los compromete. Los jóvenes están expuestos a la marginación y a la incomprensión de sus anhelos y deseos por parte de un mundo adulto que los sobreestima y los acorrala. Las preocupaciones concretas de los jóvenes de la colonia Solidaridad sobre su disposición al cambio de conductas y actitudes frente a una realidad que los inunda todos los días ("no hay canchas deportivas o alguna actividad que nos permita organizarnos e identificarnos") las han convertido en un deseo genuino y válido, esto acompañado por su natural rebeldía, de modificar y no sólo acomodarse a una realidad desconcertante y que, en apariencia, ofrece pocas oportunidades. Estamos convencidos de la utilidad de mostrar un camino que permita construir una organización, que les dé la posibilidad de reconocer sus talentos y limitaciones, sin conflicto.

El juego y el arte resultan herramientas sumamente útiles que permiten tanto la aprehensión de conceptos como la apropiación de valores a través del trabajo físico y el estímulo emocional. Tanto el juego como el arte son una metáfora de la vida, pues permiten visualizar, apropiarse y buscar soluciones a las problemáticas de la realidad. Este proyecto busca que cada concepto que se aborde se traduzca en una experiencia de vida.

La "decisión de cambiar" es un motor fundamental para iniciar cualquier proceso que requiera una revisión en los juicios y hábitos de un individuo. Esta "decisión" la hemos percibido en las acciones y discursos de los jóvenes con los que hemos trabajado. Esta oportunidad de trabajo e investigación con los jóvenes se ha potenciado a partir de las herramientas propuestas por Alternativas de Divulgación, A.C.

Los temas ambientales competen a toda la sociedad, por lo tanto hay que encontrar mecanismos que incluyan a la mayor cantidad de pensamientos y caracteres posibles. Cada comunidad tiene características, necesidades e intereses distintos y particulares; para homogeneizar, en la medida de lo posible, una información que debe ser comprendida sensiblemente por grupos tan variados. Los caminos lúdico y artístico constituyen un vehículo que resulta incluyente, equitativo, eficiente y atractivo para que cualquier persona tenga acceso a dicha información por más especializada que ésta sea. Campo que los jóvenes llegan a dominar de manera casi natural y sin reservas.

Este proyecto tiene como interés fundamental dar a la labor del joven promotor ambiental un status de rigurosidad, sensibilidad y disciplina frente a los temas ambientales y a los públicos con los que trabajará, ya que es necesario posicionar la figura del promotor ambiental como un individuo preparado, capaz de profundizar en el tema a desarrollar y entrenado para traducirlo clara y sensiblemente a cualquier sector, utilizando recursos lúdicos y artísticos para tal efecto. Este proyecto busca dejar atrás la imagen que por años, y en todo el país, se ha tenido del promotor ambiental como un diletante con buenas intenciones. Se prende así invitar a los jóvenes a participar activamente, es decir, volverse agentes de cambio frente a una problemática ambiental específica y sumamente compleja.

VIII.-Conclusiones.

La educación es una estrategia para luchar contra la exclusión social en sus diversas manifestaciones. La apuesta va en el sentido de incluir a los niños y jóvenes en situación de pobreza, de generar ofertas de formación que les permita acceder a trabajos dignos y a mejorar su calidad de vida. Una formación con un camino lúdico. Mediante el arte y el juego. El Centro para la Promoción Ambiental es un reflejo y una apuesta para desarrollar espacios que permitan la participación y

la posibilidad de estar, y sentirse parte de, sentimiento que allí se comparte. La educación es una estrategia para lograr una injerencia en la comunidad y dar pasos positivos, que auguran el proceso de transformación de visiones que permitan una vida en equilibrio con el medio natural.

El reto para todas y todos los que intervenimos en éste primer paso es que se consolide un Centro Juvenil de Promoción Ambiental, donde los jóvenes de la localidad, a través de estrategias lúdicas y artísticas de sensibilización y participación comunitaria, y en coordinación con la Universidad Autónoma Metropolitana a través de sus programas PIDESTI, PIMUDES y PISUS, se sumen al esfuerzo para reducir el impacto ambiental que se verifica en la colonia "La Solidaridad" en la comunidad de San Rafael, Municipio de Tlalmanalco, Estado de México; por la descarga e inadecuado manejo de los residuos sólidos domésticos que son depositados en las barrancas del Área Natural Protegida "El Faro" de la cual son vecinos. Por otra parte seguir capacitando a los estudiantes de servicio social de la UAM Azcapotzalco del proyecto PIDESTI para que sean promotores y multiplicadores del trabajo de sensibilización y colaboración en la comunidad de San Rafael, Tlalmanalco, Estado de México. La formación y capacitación de un grupo de promotores ambientales de la propia localidad para realizar un trabajo permanente de sensibilización, monitoreo y diagnóstico en relación a la problemática ambiental, a través del Centro Juvenil de Promoción Ambiental *"Acohuetzi"*. Continuar elaborando material didáctico lúdico o artístico que permita a la población del lugar conocer la problemática y poner en la mesa sus exigencias, retos y soluciones. Seguir con la capacitación técnica, estética, ética y artística de los jóvenes integrantes del Centro Juvenil para realizar eficientemente (con rigor científico y sensibilidad artística) trabajo de sensibilización y participación comunitaria tanto en las colonias vulnerables de su localidad como en las de los municipios cercanos. Sobre todo influir en el reconocimiento de la problemática ambiental (basureros clandestinos y tiraderos a cielo abierto en las barrancas de El Faro) junto con los habitantes de la colonia "La Solidaridad" en la comunidad de San Rafael, Tlalmanalco, Estado de México. Y por qué no ir más allá de la localidad, para demostrar a nuestra sociedad, los problemas que allí están, nos corresponde encontrarles solución con la participación de todas y todos. Es responsabilidad de los y las que habitamos el planeta como dice Jaime Sabines: *"roto, casi ciego, rabioso aniquilado, hueco como tambor al que golpea la vida, sin nadie pero solo, respondiendo las mismas palabras para las mismas cosas de siempre, muriendo absurdamente, llorando como niña, asqueado. He aquí éste que queda, el que me queda todavía. Háblenle de esperanza, díganle lo que saben ustedes, lo que ignoran, una palabra de alegría, otra de amor, que sueñe.*[14]

Bibliografía:

Borrador: Parque Estatal Cerro el Faro y Cerro de los Monos, Programa de Conservación y Manejo. Sep. 2007.

Luna, A. 2004. Programa de Conservación y Manejo del "Cerro El Faro e Isla de Monos". Versión preliminar. Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Documento madre. PIMUDES 2007.

Informes Pimudes 2008 y 2009

Pieck Enrique (Coord) "Los jóvenes y el trabajo: La educación frente a la exclusión social. México.2001. p. 27.

Revista de Educación, "Educar para un desarrollo sostenible" número extraordinario 2009.pp 36.

Sabines Jaime "Recuento de poemas 1950/1993" Joaquín Mortiz. 1997. México. p.24.

http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/mexico/mpios/15103a.htm

[14] Sabines Jaime "Recuento de poemas 1950/1993" Joaquín Mortiz. 1997. México. p.24.

3er Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos

9, 10 y 11
Junio, 2010

3er encuentro de expertos en

9, 10 y 11
Junio
2010

RESIDUOS
SÓLIDOS

10ª SEMANA DEL AMBIENTE
11° FORO DE INGENIERÍA AMBIENTAL