

Encuentro de expertos en residuos sólidos en México

Editoras

Dra Sara Ojeda Benitez

M.C Gabriela Lozano Olvera

Universidad Autónoma de Baja California

Dr. Gabriel Estrella Valenzuela
Rector

Arq. Aarón Gerardo Bernal Rodríguez
Vicerrector

Dr. Martín Francisco Montaña Gómez
Coordinador de Investigación y Posgrado

Dr. Benjamín Valdez Salas
Director del Instituto de Ingeniería

© 2007 Universidad Autónoma de Baja California
ISBN 970-735-075-X

Comite Editorial

Dra. Sara Ojeda Benitez
Dr. Otoniel Buenrostro Delgado
Dr. Gerardo Bernache Perez
Dra. Carolina Armijo de Vega
Dra. Liliana Márquez Benavides
M.C. Gabriela Lozano Olvera

Agradecimientos	3

Presentación	4

Sección 1: Estudios de caracterización y generación de residuos

Coordinador Dr. Gerardo Bernache Pérez

1.1 Los Estudios de Basura en México. Una Retrospectiva	7
1.2 Caracterización de los residuos sólidos peligrosos en las viviendas de Morelia, Michoacán, México	31
1.3 Identificación de patrones de comportamiento ambiental por tipología familiar en la generación de RSD: estudio de caso.	40
1.4 El problema de los residuos domésticos en la ciudad de Tepic	54
1.5 Caracterización de residuos sólidos y potencial de reciclaje para una institución de educación superior.	66
1.6 Diagnóstico, evaluación y propuesta de gestión al sistema de manejo de los residuos sólidos generados dentro de un área natural protegida.	79

Sección 2: Efectos ambientales y factores de riesgo asociados al manejo de residuos sólidos

Coordinador Carlos A. González Razo

2.1 Vertederos y viviendas	92
2.2 Acortar el camino hacia el uso respetuoso de los recursos	104
2.3 Análisis de impacto ambiental por la inadecuada disposición de residuos de la construcción y demolición en el Valle de México y propuestas de solución.	113

Sección 3: Herramientas para la gestión de residuos sólidos

Coordinador Dra. Ma Elizabeth Ramírez Barreto

3.1 Análisis espacial de la generación de residuos sólidos en Morelia, Michoacán	122
3.2 Una aplicación de lógica difusa para identificar perfiles de generación de envases por familia	137
3.3 Observatorios urbanos oportunidades para el monitoreo ambiental: residuos sólidos	146
3.4 Modelos para determinar las variables predictoras en la generación de residuos domiciliarios	156

Sección 4: Rellenos sanitarios (diseño, monitoreo, remediación de sitios clausurados, etc.)

Coordinador Dr. Otoniel Buenrostro Delgado

4.1 Efecto de diferentes proporciones de materia orgánica en la degradación metanogénica de RSU de pátzcuaro Michoacán	169
4.2 Delineación de la pluma contaminante en el acuífero superior por un relleno sanitario municipal: Estudio de caso en Mexicali, B.C., México	179
4.3 Fraccionamiento químico de metales pesados en suelo acondicionado con lodos residuales hace dos, tres, cinco y siete años	190
4.4 Estudio a escalas laboratorio y piloto, de la degradación de RSU de Metepec (México) y de sus lixiviados, producidos mediante la simulación de lluvia	201

Sección 5: Reciclaje y Tratamientos de residuos (Procesos mecánicos, biológicos, térmicos y similares)

Coordinador Dra Liliana Márquez Benavides

5.1 Efecto del tiempo de retención en un proceso de digestión aeróbica para los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Durango.	213
5.2 Tratamiento de lixiviados por oxidación Fentón	220
5.3 Diseño y construcción de biodigestores anaerobios para el tratamiento de residuos orgánicos municipales en Mexicali	232
5.4 Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos procedentes de la agroindustria citricota, para la elaboración de plásticos biodegradables	240
5.5 Evaluación de la materia orgánica soluble durante el proceso de vermicomposteo	251
5.6 Reinyección una alternativa para el desecho de salmuera y recarga hidráulica de yacimientos geotérmicos	260
5.7 Red de centros de acopio de residuos sólidos municipales para la microcuenca de sierra nevada	269

Sección 6: Planeación y manejo de residuos sólidos

Coordinador Dra. Carolina Armijo de Vega

6.1 Manejo de los residuos biológicos infecciosos sólidos, generados por los profesionales de la salud bucal, en Mexicali, B.C. México	288
6.2 Diagnóstico y propuestas del manejo de residuos sólidos en el bosque de San Juan de Aragón, México, D.F.	296
6.3 Propuesta de planificación para la gestión integral de residuos sólidos en el Estado de Hidalgo, México.	310
6.4 Propuesta para una gestión ambiental de los residuos municipales en México a partir de las experiencias de la Unión Europea	322
6.5 Programa de gestión integral de residuos sólidos en la UAM-Azcapotzalco. Una experiencia camino al éxito.	336
6.6 Alternativas para el manejo integral de residuos de la construcción y demolición	348
Conclusiones	361

Agradecimientos

El encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos, fue realizado con el apoyo CONACYT, como parte del proyecto No 46815-H titulado *Dimensiones del comportamiento del consumidor y su relación con los residuos sólidos que genera: Estrategias para su recuperación en una vivienda sustentable*.

Agradecemos a CONACYT y a la UABC el apoyo para publicar en este documento electrónico, los resultados de los trabajos presentados por los expertos en la temática que se abordó en el encuentro.

Presentación

Las instituciones de educación superior tenemos la responsabilidad de formar profesionales e investigadores de alto nivel, así como generar y aplicar conocimientos, es en este sentido, que la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) ha destacado en diversos campos y ha logrado ubicarse como líder.

Una de las áreas en las que ha trabajado es el campo de los residuos sólidos. Siendo pionera de estudios de generación en la región noroeste; los cuales han aportado datos reales de esta problemática. Por ello, en el marco del 50 aniversario de creación de esta institución se propuso convocar a este *Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos*, con la coparticipación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), quien ha impulsado la investigación en esta área financiado proyectos de investigación en ciencia básica. Uniéndose a esta tarea, el CIESAS a través del Dr. Gerardo Bernache, pionero a nivel nacional de estudios de basura y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo con la participación de los doctores Otoniel Buenrostro y Liliana Márquez. Cabe destacar el apoyo recibido del Dr. Luís Díaz, Presidente de Cal Recovery y Editor de la Revista Waste Management, experto reconocido a nivel internacional en la temática que nos reúne en este encuentro. Quien ha estado involucrado en el campo del manejo de los residuos sólidos durante casi 30 años.

La realización del 1^{er} *Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos* se enmarca en los festejos del cincuentenario de la U. A. B. C. con el propósito de fomentar el intercambio de información y la cooperación con las instituciones relacionadas con la educación, el sector social, gubernamental y de la iniciativa privada. En este contexto, el encuentro presenta una oportunidad para difundir estudios y experiencias realizadas en el campo de los residuos sólidos. Si bien existen muchos eventos enfocados a tratar la temática ambiental en la cual generalmente se incluye como un área más, éste encuentro está dirigido exclusivamente a tratar la temática de los residuos sólidos abordándolos desde la perspectiva social, ambiental y

tecnológica, incorporando la visión de un grupo de expertos a nivel nacional que conforman la triada universidad-gobierno-empresa en el país

Originalmente el encuentro fue programado para un grupo pequeño de expertos, pero la divulgación, aceptación y trascendencia del evento nos llevó a abrir el espacio para que un mayor número de especialistas del sector académico, gubernamental, industrial y comercial, pudieran estar presentes para discutir la problemática y presentar alternativas para este problema que no es exclusivo de un sector de la sociedad, ni de pobres o de ricos, sino de todo los que habitamos el planeta tierra.

Los objetivos del encuentro fueron reunir a los especialistas en residuos sólidos de México para discutir sobre los problemas sanitarios, ambientales y técnicos asociados a la generación, manejo y disposición final de los residuos sólidos, así como discutir los adelantos y evolución en la temática, además de plantear soluciones

Estimular la presentación de trabajos desarrollados en México para su difusión en un foro de especialistas del sector académico, gubernamental y de la iniciativa privada a nivel nacional. Así como promover el intercambio de experiencias de especialistas en el campo de los residuos sólidos para la diseminación de conocimientos generados y propiciar los lazos de los profesionales que trabajan en el sector

La presente publicación fue financiada por el CONACYT, a través del proyecto *Dimensiones del comportamiento del consumidor y su relación con los residuos sólidos que genera: estrategias para su recuperación en una vivienda sustentable* número 46815, contiene 30 trabajos que abordan seis temáticas relacionadas con los residuos sólidos y representan el trabajo de 15 instituciones a nivel nacional que están trabajando la problemática y presentando alternativas para incidir en la solución de problemas asociados a la generación manejo y disposición final de residuos.

Dra. Sara Ojeda Benítez
Coordinadora General del Encuentro
Instituto de Ingeniería UABC
Mexicali, Baja California, Abril del 2007

Sección 1:

Estudios de caracterización y generación de residuos

Los Estudios de Basura en México. Una Retrospectiva

Conferencia

Dr. Gerardo Bernache

CIESAS Occidente

Guadalajara, Jalisco, México

email: gbernache@yahoo.com.mx

I. INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre la basura en México empezaron propiamente en el año 1980 cuando El Centro de Ecodesarrollo y la Universidad de Arizona, se asociaron para realizar un primer estudio de los residuos de 1.085 familias en el Distrito Federal. Durante la década de los ochentas, la ciudad de México fue el centro principal de estudios sobre los residuos y su manejo, ya para la década de los noventas varios investigadores empezaban a estudiar de manera sistemática los problemas de la basura en Guadalajara, Morelia y Mexicali, así como en Hermosillo, Tepic, San Luis Potosí, Mérida, Chetumal y Tuxtla Gutiérrez.

Se han estudiado un número de temas que han dado lugar a líneas de investigación más consolidadas. Sin embargo, el interés principal ha sido entender las dimensiones de la producción, el manejo y la disposición final de residuos sólidos municipales en zonas urbanas, así como su contribución a la degradación ambiental. Se cree que una vez que se tengan claros los volúmenes de residuos que se generan en una zona y la forma en que se manejan, se puede entender mejor el riesgo de impacto negativo sobre el ambiente regional. Asimismo, ha sido muy importante el conocer las diversas acciones de gestión de los residuos que realizan los ayuntamientos.

En esta ocasión se hará una retrospectiva de los estudios sobre residuos sólidos que se han realizado en México, el enfoque son los residuos domésticos y los residuos sólidos municipales que por definición son residuos no peligrosos y que están bajo jurisdicción de los gobiernos locales: los ayuntamientos. Este texto estará dividido en seis partes, empezando con un reconocimiento a la influencia del Dr. William Rathje en desarrollar el interés, capacitar investigadores y gestionar financiamientos para algunos de los proyectos iniciales de investigación en el DF y Guadalajara. En una segunda parte se abordan los estudios y publicaciones que tuvieron lugar en la zona metropolitana de la ciudad de México, principalmente en los ochenta y los noventas. En tercer lugar se tratarán los principales estudios realizados en la ciudad de Guadalajara. En cuarto y quinto lugar, respectivamente, se revisan algunos de los estudios principales en Mexicali y Morelia. Por último, en sexto lugar, se señalan algunos de los estudios importantes realizados en otras ciudades de la república. Se hace tiene cierta preferencia por las cuatro ciudades a las que se les dedican las primeras secciones de este documento porque es ahí donde han consolidado su trabajo varios equipos de investigación. En el caso de la ciudad de México los equipos han tenido sus bases en el Centro de Ecodesarrollo, la UNAM, el INE y la SEMARNAT (así como en instituciones federales precursoras,

como la SEDUE). En Guadalajara ha sido el CIESAS Occidente, la Universidad de Guadalajara y el ITESO donde se han desarrollado los estudios principales. En Mexicali y Morelia han sido las universidades públicas las que han albergado a sendos equipos de investigación, en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California y en el INIRENA de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

II. EL PROFESOR RATHJE Y THE GARBAGE PROJECT

Quizá es Vance Packard el precursor de los estudios sobre residuos, este novelista estadounidense criticaba de manera aguda el estilo de vida de esta sociedad basada en el consumo intenso, más allá de las necesidades básicas. Los individuos se habían transformado en “hacedores de desperdicios” y estaban fascinados con el consumo de nuevos productos, de tecnología novedosa, de mercancía que llevaba la marca de la obsolescencia planeada como precursora de la cultura comercial que gira alrededor del producto desechable (Packard, 1960).

Desde la arqueología, fue el profesor Rathje quien rescató la idea de estudiar los residuos en contextos sociales modernos, más allá de los límites tradicionales de la arqueología que se confina a los pueblos prehistóricos. A principios de los noventa publica en la revista *National Geographic* el artículo “*Los rellenos sanitarios contemporáneos y futuros*” (Rathje, 1991). En este texto, el profesor Rathje hace un recorrido por diferentes rellenos sanitarios que su equipo había estudiado en el pasado reciente como el Relleno Río Salado en las afueras de Phoenix, Mallard North que da servicio a Chicago y Fresh Kills en Staten Island que

recibe una buena parte de los desechos (17,000 toneladas diarias) que produce Nueva York (Rathje, 1991). En este ensayo Rathje aporta elementos para entender mejor los procesos de degradación de residuos que tienen lugar en los rellenos sanitarios estadounidenses, asimismo nos señala los puntos críticos de la contaminación ambiental del agua y del aire que ocasionan los grandes entierros de basuras.

Para el año de 1992 el profesor se asocia con Cullen Murphy para escribir un libro más comprehensivo en el que hacen un recuento de los intereses académicos, tanto en el ámbito teórico como en el de las herramientas metodológicas, del *Garbage Project*. Al hablar de lo que la basura dice de nosotros mismos, desde la información que nos arroja el método arqueológico, podemos ver reflejada una sociedad que sigue caminando al ritmo que le marca el deseo por el consumo de bienes materiales como señales de afluencia y bienestar individual. Los estilos de vida tienen un correlato de uso de recursos naturales y la sociedad actual se establece sobre un patrón de uso intensivo de recursos naturales tanto renovables como no renovables (Rathje y Murphy, 1992).

La influencia del Dr. Rathje es definitiva en los estudios de los residuos en México, de manera propositiva generaba opciones de investigación en nuestro país. Hacia principios de la década de los ochentas trabajó de manera cercana con el Dr. Restrepo del Centro de Ecodesarrollo en el Distrito Federal y juntos impulsaron varios proyectos de estudio de los residuos sólidos en la capital del país. Por su parte, Gerardo Bernache estudió y trabajó de manera directa con el Dr. Rathje y el Garbage Project de la Uni-

versidad de Arizona, desde 1986 y hasta finales de 1994.

III. LOS ESTUDIOS DE RESIDUOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO¹

En 1983 se publicó la primera edición del libro de Iván Restrepo y David Phillips *Basura. Consumo y desperdicio en el Distrito Federal* que publicó el Instituto Nacional del Consumidor, mismo que en 1985 fue reimpresso por el Centro de Ecodesarrollo. El propósito de esta investigación fue definir las características de los residuos domésticos, presentar un perfil del consumo de alimentos de las familias y evaluar el efecto de la publicidad en los patrones de consumo. Respecto a la dieta de las familias capitalinas, los investigadores descubrieron que todos los hogares de los diversos grupos de ingresos tenían acceso a una dieta básica común, sin embargo se apreciaba gran diferencia en el consumo entre familias pobres y los hogares de altos ingresos (Restrepo y Phillips, 1983; Phillips, Restrepo y Rathje, 1984).

En 1984, Rathje y un equipo de colaboradores abordaron el polémico tema de la presencia de empaques en los residuos domésticos, un asunto sobre el que hay mucha discusión pero pocos estudios serios. La producción de empaques en hogares mexicanos es moderada. Rathje y sus colaboradores en un estudio comparativo de los mexicanos (Distrito Federal) y estadounidenses, encontraron que los residuos de los estadounidenses contienen un 40% de empaques. En comparación, los hogares mexi-

canos producían una cantidad que podríamos definir como moderada, ya que menos del 20% de sus residuos residenciales eran desechos de empaques y embalajes (Rathje y cols., 1985). Estudios recientes en Guadalajara indican que un 18% de lo que tiran los hogares tapatíos son desechos resultantes del uso de empaques y embalajes (Bernache y cols. 1998).

Otro tema importante en los estudios de basura tiene que ver con la participación de un ejército de trabajadores y de los cientos de pepenadores en el proceso de manejo de los residuos, en particular en el Distrito Federal. Estos hombres y mujeres que trabajaban en el Departamento de Limpia y en los basureros capitalinos son el componente humano que da vida al proceso de manejo de la basura en la ciudad de México, esto fue lo que llamó la atención a Héctor Castillo Berthier, del Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM. Castillo estudió las entrañas del sistema de recolección de residuos, del sindicato de trabajadores de limpia y la organización de los pepenadores; él nos describe un sistema de recolección de basura en el Distrito Federal, vigente a principios de la década de los ochenta, donde el entonces cacique de la Unión de Pepenadores de los Tiraderos del DDF, Rafael Gutiérrez, mantenía un control sobre los trabajadores operativos del sistema de recolección y al sistema de pepena y comercialización de subproductos en el gran tiradero de Santa Cruz Meyehualco (Castillo 1983).

De acuerdo con Castillo, el total de personas que se dedicaban en 1979 a labores de limpia, recolección y transporte de los residuos en el gobierno del Departamento del Distrito Federal sumaba 16,500. A pesar de

¹ Recuerdo un libro que habla, desde una perspectiva histórica, del problema de basuras e inmundicias en siglos pasados en la ciudad de México, sin embargo he perdido el texto y la referencia completa, por lo que no he podido presentarlo aquí, pero es un texto valioso por lo que nos muestra de las raíces históricas de nuestros problemas con la basura y las inmundicias.

estos recursos humanos el servicio de limpia sufría de cuatro problemas serios: falta de personal para dar cobertura a todas las zonas y a las labores encomendadas; falta de equipos necesarios para las diversas actividades relacionadas con barrido, recolección y transporte de los residuos; falta de mantenimiento del equipo (por lo que buena parte del mismo no estaba en condiciones de operación), y de supervisión de las labores del personal operativo en las calles de la ciudad (Castillo, 1983).

Por otra parte existía un ejército de 1,300 familias de pepenadores, agrupados en dos organizaciones que controlaba Rafael Gutiérrez. Tan sólo en el tiradero de Santa Cruz Meyehualco vivían 800 estas familias (de ellas unos 150 pepenadores se trasladaban a diario a trabajar al tiradero de Cerro de la Estrella) y otras 500 familias en el tiradero de Santa Fe. El producto del trabajo de los pepenadores era acaparado por el cacique Rafael Gutiérrez y su grupo, pues la ley del basurero era que sólo podrían vender sus productos al líder.

El segundo libro de Héctor Castillo (1984) aborda la miseria que se vive en el mundo de la basura capitalina, nos presenta la vida dentro del basurero de Santa Cruz Meyehualco, un pueblito donde viven cientos de familias de pepenadores. Además de la vida cotidiana de personajes como *El Prieto* y *El Mugres*, el autor nos describe con detalle la vida y la dinámica social dentro de la comunidad de pepenadores de Santa Cruz Meyehualco.

Bernache y Rathje presentan, en 1988, un acercamiento al estudio de los desechos domésticos contaminantes en una ponencia en la 4ª Conferencia Internacional de Manejo de Desechos Sólidos Municipales y Mate-

rial Secundario en la ciudad de Philadelphia. En esta presentación se tratan los diversos perfiles de composición de los desechos contaminantes, mientras que en los EEUU se tiran más residuos de pilas/baterías y los productos de belleza, en el Distrito Federal los más frecuentes eran los productos para la limpieza doméstica y los productos de belleza. En todos los casos los residuos de las pilas/baterías son frecuentes.

En el año de 1990, Alma Guillermoprieto publicó un interesante reportaje sobre la basura de la capital en la revista *The New Yorker*. En el texto se abordaba una serie de temas relacionados con la vida de los pepenadores, el control caciquil de su sindicato, el crecimiento de la producción de residuos municipales, los grandes tiraderos de Santa Cruz Meyehualco y Bordo de Xochiaca, así como la contaminación observable en estos lugares (Guillermoprieto, 1990). Para la autora, el crecimiento explosivo de la producción de residuos se dio en el contexto urbano del Distrito Federal en la década de los años cuarenta con el flujo de mercancías más accesibles para el consumo masivo. En la capital el problema de la basura involucra a todos los niveles sociales, aun a los más pobres que en su ingreso a la sociedad de consumo, disfrutaban comprando mercancías empacadas, así como alimentos y bebidas denominadas *chatarra*.

La autora relata cómo la contaminación está a la vista en los tiraderos y los pepenadores trabajan en condiciones de contacto directo con los lixiviados y otras sustancias químicas. Así, en ciertos puntos el olor a acetona se combina con la basura orgánica en descomposición y con los olores de montones de pañales desechables. En otros momentos, durante el verano, las condicio-

nes se vuelven más críticas, como se apreciaba en el siguiente relato:

“Después de una semana de lluvia, los pepenadores estaban trabajando en charcos lodosos que les llegaban al tobillo; este charco tenía unos manchones de una sustancia color azulado y otros manchones de rojo brillante. Un grupo de niños, ignorando el hedor, se metían entre el charco azul y pescaban cuentos y revistas infantiles que aventaban sobre un montón de plástico” (Guillermo-prieto, 1990: 96).

En el libro *“La Basura es la Solución”* el Arquitecto Armando Deffis Caso (1989) nos presenta una serie de ideas sobre el problema de la basura y métodos ingeniosos para producir compost y abonos orgánicos, así como un plan de reciclaje y uso productivo de los residuos domésticos y una serie de alternativas para el aprovechamiento de residuos sólidos. Con buenas ilustraciones, dibujos, cartas de flujo y demás, Deffis nos invita a reflexionar sobre el problema de la basura que producimos en contextos urbanos y lo que podemos hacer para reducir el impacto negativo de los residuos sobre el ambiente. Al menos dos libros más han abundado sobre el tema del procesamiento y reciclaje de la basura. Uno de ellos, de Rodolfo Trejo que se titula *“Procesamiento de la basura urbana”* que aborda los diferentes métodos y tecnologías que se utilizan en el mundo para el procesamiento de los residuos, tecnologías que van de la recuperación de materiales, la disposición en relleno sanitario y la incineración, al composteo (Trejo, 1994). Otro libro para un público amplio sobre el tema del reciclaje es el de Margarita Aguilar y Héctor Salas, quienes

nos presentan *“La basura. Manual para el reciclamiento urbano”* (1994).

En 1991 se publica el libro *“Los demonios del consumo. Basura y contaminación”* de Iván Restrepo y colaboradores. Aquí se reporta sobre el desarrollo de la investigación de los residuos en el Distrito Federal a partir de tres proyectos realizados durante la década de los ochenta, en los años 1989, 1983 y 1987. En una nueva comparación de los residuos domésticos de las familias estadounidenses y las mexicanas, Restrepo y sus colaboradores indican que el promedio de residuos domésticos por persona es de cerca de 402 gramos en la ciudad de México y de alrededor 1,040 gramos diarios en Estados Unidos.

Restrepo y sus colaboradores también hacen una serie de estimaciones sobre la producción de residuos domésticos y afirmaban que para el año 2000 la producción de basuras en la zona metropolitana de la ciudad de México rebasaría las 15,000 toneladas de residuos municipales diarios.

Un componente novedoso en la investigación de Restrepo y sus colaboradores fue el estudio de los desechos domésticos contaminantes (DDC). Por algún tiempo se había pensado que la basura residencial contenía residuos de productos y sustancias considerados como contaminantes. Los autores comprobaron que los residuos domésticos han dejado de ser una mezcla de restos inofensivos, desde la perspectiva del riesgo que presentan los residuos actuales a la salud pública y de la degradación ambiental (Restrepo y cols., 1991). Se propone que existe un ciclo de contaminación ambiental que ocasionan los tiraderos de basura, ya que los lixiviados que escurren por las laderas o que se filtran al subsuelo tienen características de residuos peligrosos y su princi-

pal efecto negativo es la contaminación de aguas cercanas y de los suelos donde se localiza un tiradero (Restrepo y cols., 1991). Aunque se había discutido este ciclo y el potencial de contaminación de las aguas en el estudio de los residuos en el Distrito Federal, sólo recientemente, una investigación realizada en el tiradero de la ciudad de Morelia, ha comprobado que tal ciclo tiene lugar y que la contaminación de los acuíferos por filtración de lixiviados contaminantes es un hecho derivado de la actual estrategia de disposición final de basuras municipales (Israde y cols., 1999; Israde, 2000).

La tesis doctoral del autor fue sustentada en diciembre de 1994, esta investigación no publicada se enfocó a estudiar --a partir de tres bases de datos de residuos domésticos en el Distrito Federal-- los cambios que sufrieron las familias capitalinas en el acceso y el consumo de alimentos durante el periodo de 1980 a 1987. En este lapso de tiempo hubo un cambio drástico en los ingresos familiares que eran buenos y muy buenos durante los primeros años de la década cuando la bonanza del petróleo se reflejaba en el poder adquisitivo, hasta la devaluación al final del sexenio de López Portillo en 1982 cuando la crisis y la carestía tuvieron un impacto en el consumo de alimentos en los hogares. La clase que más sufrió estos cambios fue la clase media que de un consumo alto de alimentos, se recortó sustancialmente su consumo de nutrientes y cambios hacia la compra de alimentos a granel y de marcas más económicas (Bernache 1994).

Otra investigación interesante la realizó Pamela Severini (1995) se dedicó a establecer una comparación entre los estilos de gestión de los residuos municipales en Montreal (Canadá) y la ciudad de México. Seve-

rini nos plantea la crisis de la basura en estas ciudades, dos crisis divergentes en su origen, así como también diferentes en el grado de participación ciudadana involucrada en la gestión de los residuos. En Montreal la crisis de la basura estalló cuando los dos rellenos sanitarios disponibles para la ciudad se saturaron. Al intentar ubicar y definir otros sitios que potencialmente podrían servir para ubicar los rellenos sanitarios, la ciudadanía, organizada en grupos comunitarios y asociaciones ambientalistas, demandó una solución de gestión integrada que cumpliera con las líneas del desarrollo sustentable. La solución inicial, ante esta demanda, fue establecer programas de recolección selectiva de residuos en el nivel de rutas domiciliarias, mientras que, al mismo tiempo, se estableció una red de centros de acopio para recuperar materiales inorgánicos y orgánicos.

Para Severini el problema de la basura municipal es de diferente orden en cada lugar. Para empezar, en México se sufre de la falta de datos y de información confiable y sistemática los residuos municipales. Los organismos responsables del manejo de los residuos cambian o desaparecen, por tanto, los archivos con el registro de actividades son inexistentes (Severini, 1995). Otro elemento es la ausencia de una demarcación de jurisdicciones y responsabilidades, respecto al servicio de limpia, entre el Distrito Federal y los municipios conurbados del Estado de México. Además, el problema de los residuos se agudiza por el crecimiento urbano anárquico, por la concentración de millones de personas en asentamientos irregulares, por la inestabilidad administrativa local, por la falta de voluntad política y la falta de preparación de los responsables, que no pueden brindar un servicio integral, por la

convivencia de dos sistemas de manejo de residuos (el formal municipal y el informal de los pepenadores), y por los múltiples sitios que se utilizan para el entierro de la basura que es fuente de contaminación ambiental regional.

En 1997 el Instituto Nacional de Ecología publica un interesante texto que se titula *Estadísticas e indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México* (INE, 1997). El siguiente año la asociación Mexicana para el Control de Residuos Sólidos y Peligrosos (AMPRESCAP), coordinado por Jorge Sánchez y un equipo de colaboradores, presentan un texto donde abordan el tema de *“Impacto ambiental en rellenos sanitarios.”* En esta publicación se tratan los conceptos básicos sobre la localización de sitios, sobre los procesos de construcción y operación de sitios rellenos sanitarios, así mismo se dan elementos para evaluar el impacto ambiental de un relleno sanitario (Sánchez y cols. 1998).

Aunque desde 1986 el gobierno federal empezó a poner en marcha, con apoyo financiero del Banco Mundial, una serie de programas para mejorar el manejo de los residuos (Sancho y Rosiles, 1999 y Rosiles 1999), no fue sino hasta finales de la década de los noventa cuando se empezó a consolidar el modelo de Gestión Integral de los Residuos Sólidos (GIRS) con la publicación de un libro de la SEMARNAT (1999) titulado *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos* y del reporte de Sancho y Rosiles, ambos en el año de 1999. Ya para el año 2001 la misma secretaría publicó su *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales* donde se daban recomendaciones para que los municipios pudie-

ran mejorar sus sistemas de manejo de residuos y *Bases de política para la prevención de la contaminación del suelo y su remediación* enfocado al impacto de los entierros de basuras en tiraderos, vertederos y rellenos sanitarios (SEMARNAT 2001a y 2001b).

Otras dos publicaciones aparecen en la ciudad de México en 1998, una de ellas son las *“Memorias. Seminario Internacional sobre el manejo integral de residuos sólidos”* (Sustenta, 1998) donde se presentan los resúmenes de unas 15 intervenciones que versaron sobre el manejo integral de los residuos municipales, con la participación de destacada de Cristina Cortinas², Gustavo Rosiles y un número de participantes de Latinoamérica, Estados Unidos y Europa. La Dra. Cristina Cortinas (1999) aborda el tema del manejo colectivo de los residuos sólidos, destaca la creación de organizaciones, grupos y redes que impulsan, en colaboración con el INE y la SEMARNAT una mejor gestión de los residuos en México, como es el caso de la organización empresarial SUSTENTA, el grupo Manejo Integral de Residuos Sólidos (MIRE) y la Red Mexicana de Manejo Ambiental de los Residuos (REMEXMAR). También habla de las responsabilidades en la generación y manejo de los residuos en México. Por su arte, el Ing. Gustavo Rosiles (1999) presenta, de manera detallada, los montos de producción de residuos en diferentes zonas del país, así como los perfiles de composición material y las estrategias municipales para el manejo de residuos.

IV. GUADALAJARA

² La Dra. Cristina Cortinas es una conocedora del tema de los residuos y es una experta en el tema de los residuos peligrosos, ella tiene reconocimientos a nivel nacional e internacional, además ha sido líder de la REMEXMAR.

En Guadalajara se han realizado una serie de estudios, desde diversas disciplinas académicas, sobre los residuos. Quizá la primera investigación seria sobre el problema de la basura en Guadalajara fue la que realizó un equipo de historiadores que abordó el tema del aseo público en la ciudad durante un periodo de más de dos siglos (1700-1910). En este estudio de Gómez, Hernández y Zamudio (1992) nos revelan la forma en que se fue creando el Sistema de Limpia en la ciudad de Guadalajara, entre los que resaltan los llamados “remates de limpia” donde empresarios concursaban para obtener la concesión del servicio por un periodo corto de meses, la compra del primer carrutón para la recolección de residuos por parte del ayuntamiento y la problemática de la basura en las calles, sobre todo en la zona aledaña al río San Juan de Dios (hoy Calzada Independencia). Otra historiadora también trata el problema público de la basura y la salubridad en las calles de Guadalajara en el siglo XVII (Castañeda 1998).

Dos textos publicados sobre una situación particular del tiradero de Coyula en Tonalá son los que publicaron Phil Weigand (2003, original de 1996) y Gonzalo López (1998). Estos dos arqueólogos que fueron testigos del proceso de descubrimiento y destrucción del montículo y los restos arqueológicos encontrados en el sitio de Coyula. En sus textos dan cuenta de cómo el sitio arqueológico fue descubierto cuando en el lugar operaba un banco de arena. Sin embargo, tanto las tumbas, como las plataformas fueron saqueadas por trabajadores del lugar. El sitio arqueológico que fue destruido de manera intencional al otorgarse permiso para operar el vertedero en este lugar. La destrucción concluyó en el año 2005 cuando

el vertedero de Coyula cerró sus operaciones.

El primero libro dedicado exclusivamente al tema de los residuos municipales es *“Basura y Metrópoli. La gestión social y pública de los residuos sólidos municipales en la zona metropolitana de Guadalajara”* que escriben Gerardo Bernache, Miguel Bazdresch, José Luis Cuéllar y Francisco Moreno en 1998. En este libro los autores abordan la producción de residuos en los cuatro municipios de la zona metropolitana de Guadalajara, así como la estrategia de gestión que sigue cada uno de los ayuntamientos: Guadalajara, Tlaquepaque, Zapopan y Tonalá. El segundo es un capítulo del libro *“Cómo gobiernan Guadalajara? Demandas ciudadanas y respuestas de los ayuntamientos”* de Juan Manuel Ramírez. El capítulo referido lleva por título “La gestión municipal de los residuos sólidos en el AMG” de Ramírez y Chávez (1998) y habla de la etapas de manejo de los residuos (recolección, transferencia, procesamiento y disposición final). También aborda el tema de la concesión del servicio de limpia, de la eficiencia de las autoridades municipales y de la participación ciudadana.

Un año después se publica el *“Manual de Reciclaje”* que prepara de manera colectiva el grupo Pro Habitat, A.C. con María Casparius como coordinadora y se publica en 1999. En este manual se brinda un marco conceptual para el reciclaje y luego se dan ideas prácticas de formas de participar en acciones de reducción y separación de diversos tipos de materiales comunes en los residuos domésticos (Casparius y cols. 1999).

También en el año de 1999, se da a conocer un estudio realizado por la Comisión Estatal

de Derechos Humanos Jalisco, que fue dado a conocer como la Recomendación 2/99 se enfoca a las condiciones de vida que viven los habitantes de zonas cercanas y aledañas a antiguos tiraderos en Guadalajara. La investigación --en la que participan Gerardo Moya, Alicia Loeza, Raquel Gutiérrez y Gerardo Bernache-- concluye con la recomendación de un mayor control sobre los sitios de disposición final, un monitoreo después de su etapa de vida útil, así como obras de infraestructura como cercado, lagunas de oxidación y mantenimiento a los pozos de ventilación del gas metano. La Recomendación 2/99 de la CEDHJ apunta al riesgo de permitir la instalación de viviendas en zonas perimetrales y directamente encima de los predios usados como tiraderos en las décadas de los setentas y ochentas, en particular los sitios de Las Juntas, San Gaspar, Santa María Tequexpan y La Cofradía donde se han construido viviendas en terrenos no aptos por los vectores de contaminación y su impacto directo sobre la salud de los nuevos colonos.

Un buen número de estudiantes, de la Universidad de Guadalajara, han desarrollado investigaciones sobre las basuras de Guadalajara. Sin afán de ser exhaustivo, destacan dos tesis de la Maestría en Ciencias de la Educación Ambiental, realizadas por Pablo Castro y Gerardo Candelario quienes abordan, respectivamente, la caracterización de los tipos de residuos materiales en la basura doméstica y el estudio de los desechos domésticos contaminantes (Castro 1999 y Candelario 1999). Antes se habían preparado otras tesis de nivel licenciatura que llaman la atención, entre las que se encuentran la de L. Tostado y D. Cabrera para obtener el grado de Licenciados en Economía que investigan el manejo y la disposición de resi-

duos en la ciudad a principios de la década de los noventas (Tostado y Cabrera 1992), la de Noemí González, estudiante de arquitectura, quien propone el diseño de una planta de separación, tratamiento y reciclaje de desechos inorgánicos (González 1994), o bien la tesis de la bióloga María Rodríguez (1998) que estudió la degradación ambiental que ocasiona la basura enterrada en el vertedero de Matatlán (Coyula).

También se realizaron dos trabajos de investigación por parte de estudiantes visitantes. Alex Long, de la Universidad de Toronto, en una estancia académica se dedicó al estudio de una pequeña sociedad de 40 pepenadores que laboran en la plataforma de la Planta de Transferencia Los Belenes en Zapopan (Long 1999). La cooperativa de pepenadores tiene una mesa directiva que funciona para negociar con las autoridades del ayuntamiento y para distribuir actividades de los miembros. Cuatro años después, la becaría de la Fundación Fulbright procedente de la Universidad de Alabama en Birmingham, Sally Engler estudió los programas de separación de residuos reciclables en los municipios de Tlaquepaque y Guadalajara (Engler 2003). Dos de los programas que estaban vigentes en ese momento eran el Programa Cambalache de Tlaquepaque en el que recolectaban materiales separados (cartón, papel, vidrio, ciertos plásticos y metales) en varias colonias del municipio y les entregaban cupones con cierto valor en puntos que después los participantes podían cambiar por artículos comestibles y otros de uso doméstico. El Programa Cambio Escolar Amigo operaba con una lógica similar en Guadalajara, solo que este programa estuvo dedicado a escuelas primarias públicas que hacían acopio de materiales reciclables y recibían a cambio cupones que podían can-

gear por artículos escolares (plumas, lápices, cartulinas, colores, etc.) o bien artículos deportivos como balones de fútbol y basketbol.

Otra contribución importante al entendimiento del problema e la basura en la ZMG lo publican, en 2001, un grupo de cuatro estudiantes del ITESO. Este documento presenta los resultados de su Proyecto de Servicio Social para la Carrera de Ingeniería Ambiental con el título *“Manejo de residuos sólidos municipales en la zona metropolitana de Guadalajara. Diagnóstico de la generación, transporte y disposición final de la basura dentro de la ciudad de Guadalajara y propuestas de solución”* (Víctor Arias, Arturo Balderas, Ernesto Flores, Juan Sosa 2001). Ellos realizan un estudio de campo extenso en los cuatro municipios de la zona metropolitana, obtienen abundante material gráfico que incluyen en su publicación y realizan un diagnóstico muy detallado de la generación, recolección, transporte y disposición final.

En marzo del 2006, Carolina Velázquez obtiene su grado de doctorado en el Programa de Medio Ambiente de la Universidad Complutense de Madrid con una tesis titulada *“Gestión ambiental y tratamiento de residuos urbanos. Propuesta para la zona metropolitana de Guadalajara a partir de las experiencias de la Unión Europea.”* A partir de su experiencia y su conocimiento de la gestión de residuos en varias ciudades Europeas, principalmente en Hannover, la autora presenta una crítica directa a las autoridades locales responsables del manejo de los residuos, la crítica es por no desarrollar mejores programas de gestión de los residuos, por no involucrar a la ciudadanía y por no cumplir con los requisitos de gestión

pública básicos del desarrollo sustentable (Velásquez 20056). Los ciudadanos también pueden ser más activos en materia de gestión social del medio ambiente y exigir a las autoridades un manejo de residuos que no degrade el ambiente regional.

Recientemente, el autor publica *“Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental”* (Bernache 2006), donde se trata con mayor detenimiento la producción de residuos domésticos y municipales en los albores del siglo XXI. En el libro se revisan e integran los resultados de estudios conducidos en otras ciudades y también se analiza la producción de desechos domésticos contaminantes y residuos sanitarios. En cuanto a los montos de producción diaria de residuos municipales *per cápita*, la cifra en los años 1996-1997 estaba entre 911 a 914 gramos (Bernache y cols., 1998; Ramírez y Chávez, 1998), para 2004 se acerca a los 1,130 gramos. En sus casas, cada habitante producía 509 gramos de residuos domésticos en el año 1997, monto que creció a 637 gramos para 2004. De seguir creciendo al mismo ritmo que hasta ahora, los residentes de la ZMG producirán 1.6 millones de toneladas anuales y más de 15 millones de toneladas de residuos durante la década actual.

Quizá la contribución más importante del libro referido es la parte que se dedica a la descripción del estado de los antiguos basureros y vertederos que dejaron de operar en el pasado reciente, así como la discusión sobre el riesgo de vivir en zonas cercanas a basureros y vertederos. Esto último, la construcción de zonas habitacionales de todos tipos en zonas cercanas, así como en áreas perimetrales y, más aún, encima de los antiguos basureros es algo común en la

década de los noventa y en la primera década del nuevo siglo.

Actualmente hay miles de familias que han instalado sus viviendas en las condiciones anteriores. Se pueden encontrar fraccionamientos formales para familias de ingresos medios como son los varios cientos de casas de Lomas de San Gonzalo en un predio vecino al vertedero de La Micaelita en Zapopan, o bien la construcción de unas 17 mil viviendas en UrbiQuinta que ocupa un predio de más de 500 hectáreas vecino al mayor vertedero de la región, el Vertedero de Coyula en Tonalá –donde yacen enterradas más de 5 millones de toneladas de residuos municipales. También hay la autoconstrucción de cientos de viviendas en unas cinco colonias que se ubican en una extensión de 20 hectáreas en una zona que alberga una veintena de pequeños y medianos tiraderos. Otro caso de tiraderos de La Micaelita y Loma Linda que quedaron en medio de varias colonias y que ahora cumplen funciones--sin que se haya realizado obras de remediación y control de la contaminación en los sitios--de centro comunitario para la reunión de jóvenes y de áreas para la práctica de deportes como fútbol o béisbol.

V. MEXICALI

En diciembre de 1995 Eladio Gaxiola presentó una tesis de maestría en la Universidad Autónoma de Baja California, en ésta se reportaba los resultados de una investigación sobre la producción y manejo de los residuos en la ciudad de Mexicali. El texto llevaba el título de *“Basura doméstica y frontera norte: diagnóstico de los patrones de consumo en Mexicali, B.C.”* y fue uno de los primeros pasos en dirección de una línea

de investigación sobre residuos sólidos en esta ciudad.

La investigación de campo de Gaxiola se llevó a cabo en cinco colonias seleccionadas de acuerdo a los parámetros de ingresos económicos, se obtuvieron residuos domésticos provenientes de 129 viviendas incluidas en la muestra. Los resultados relativos a la generación de residuos domésticos establecen que el promedio diario es de 489 gramos. Los resultados apuntan a una producción de residuos orgánicos de cocina y jardín de 47%, este es el rubro con mayor contribución al perfil de composición, le siguen “otros” (misceláneos) con 21%, el papel y cartón con 13%, y los plásticos con 9%.

Los residuos domésticos contribuían con unas 326 toneladas por día (Gaxiola 1995), mientras que el monto de los residuos sólidos municipales se ubicaba en el orden de las 464.5 toneladas diarias (Ojeda, González y Silva 1997; Ojeda y cols. 2000).

Vale la pena señalar que una sección de la tesis de Gaxiola se dedica a otros tipos de residuos especiales, como son los desechos domésticos contaminantes, estimaba la generación de DDCs en 1.9 toneladas diarias para Mexicali, el 0.6 % del total de residuos municipales (Gaxiola 1995). El autor encontró que cada habitante de Mexicali produce unos 18.4 gramos de DDCs por semana. Además, en su estudio se caracterizaron los tipos de DDCs por frecuencia y por peso. Gaxiola nos dice que si consideramos los envases y empaques de DDCs más frecuentes en la basura doméstica de Mexicali, entonces encontramos a tres categorías que son: limpiadores domésticos, las medicinas y fármacos; y los cosméticos. En tanto que si consideramos el peso (en gramos) de los restos y sobrantes de productos contami-

nantes, entonces las categorías que más contribuyen son: productos para el mantenimiento de la casa y los cosméticos. En un segundo plano estarían las baterías y materiales eléctricos, y las medicinas y fármacos.

En el año de 1995 empieza también una investigación sobre la contaminación ocasionada por la basura, en su reporte final Sara Ojeda, Irma González y Hugo Silva (1997) dan cuenta de la producción de residuos sólidos domiciliarios en Mexicali, las características de los mismos, su recolección y la disposición final. Ojeda y sus colaboradores dedican una parte importante de su estudio a describir y analizar el papel de los grupos de pepenadores que trabajan en los vertederos locales, como en el que se ubica en el Ejido Hipólito Rentería.

Para el año de 1999, Sara Ojeda concluye su tesis doctoral en la que desde la perspectiva de la educación ambiental se involucra en el estudio de los residuos en Mexicali. Aquí, ella busca establecer una relación entre el nivel escolar y la conciencia ambiental, por un lado, con la generación y manejo de los residuos, por otro lado. Ojeda concluye que el nivel de conciencia ambiental es modesto, apenas en incipiente desarrollo, dejando atrás el nivel de carencia de conciencia y conocimiento sobre la naturaleza y el cuidado al medio ambiente. La autor sugiere que se debe empezar por un programa de educación ambiental básico donde se den a conocer conceptos como contaminación, basura, reciclaje y otros. El objetivo sería “aumentar el conocimiento de las personas sobre procesos ambientales básicos” (Ojeda 1999:150), partir de una sensibilización a la contaminación por basura y continuar con información más elabo-

rada y con acciones que involucren la participación en el manejo de los residuos. En una serie de estudios más recientes, el equipo de investigadores de la Universidad Autónoma de Baja California conformado por Sara Ojeda, Carolina Armijo y Elizabeth Ramírez (Ojeda y cols. 1998, 2000, 2002 y 2003) han obtenido tres variantes del perfil de composición material de los residuos domésticos. Estudiando una muestra de 120 viviendas, Ojeda y sus colaboradoras (2000) obtienen una cifra de 640 gramos diarios por individuo de residuos domésticos, mismos que se componen principalmente de materia orgánica de cocina y jardín, como se muestra a continuación:

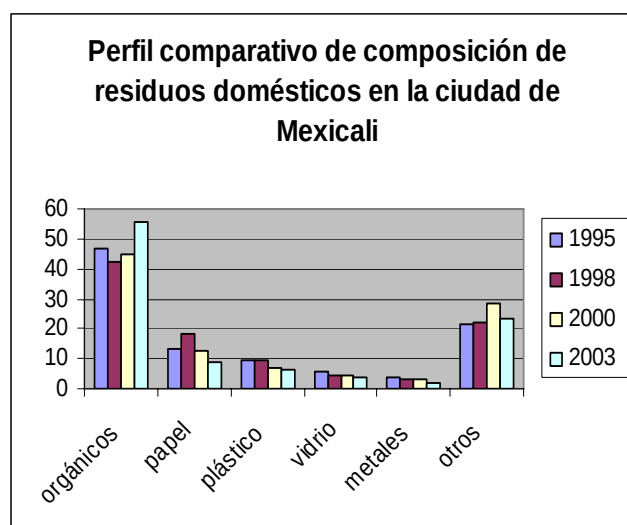


Figura 1. Tipos de materiales en residuos domésticos.

Fuentes: Gaxiola 1995; Ojeda y cols. 1998, 2000 y 2003.

Como se puede apreciar en la gráfica, los orgánicos de cocina y jardín se ubican en un rango que va de 42% al 56%, mientras que el papel y cartón están en un rango de 9% al 18% y los plásticos de 7% al 10%. El conjunto de los cuatro perfiles de composición nos refleja cierto rango de variabilidad para los orgánicos, el papel y “otros”, pero en general nos permite apreciar un patrón

en la composición de los desechos domésticos. Las diferencias en los perfiles de composición se puede explicar por: los contextos económicos locales y nacionales en 1995 y 2000 cuando se realizaron las recolecciones de muestras; por los meses del año en que se realizó el trabajo de campo; por las diferencias reales en la producción de residuos en las colonias muestreadas; por el tamaño de la muestras y la representatividad estadística de las mismas.

Los pañales han sido también un tipo de residuos especiales que ha llamado la atención de los investigadores por su alta frecuencia, Gaxiola (1995) afirmaba que los pañales desechables representaban, a mediados de los noventas, un 5.6% del peso total de los residuos domésticos. En los estudios subsiguientes de Ojeda, Armijo y Ramírez se obtuvieron datos que ubicaron la producción de pañales en el rango del 10% de los residuos domésticos: el 11%, el 12% y el 9% (Ojeda y cols. 2000, 2002, y 2003).

En residuos especiales, encontramos que el equipo de investigadoras de la universidad local ha incursionado en el estudio de los neumáticos o llantas utilizadas en vehículos. Ramírez y sus colaboradores (2002) estudiaron el sitio denominado El Centinela, mismo que ha sido utilizado para tirar las llantas de desecho. El consumo de llantas en Mexicali se ha incrementado a partir de que se ha permitido una importación masiva de llantas usadas en Estados Unidos y que no son aceptables para los estándares de seguridad vial y para los automovilistas de ese país. Estas llantas se importan y se comercializan en Mexicali a un precio muy económico considerando que tienen de uno a varios meses de utilidad de acuerdo a su estado físico y desgaste. Sin embargo, en la

práctica eso quiere decir que se ha incrementado el ritmo de desecho de llantas usadas. Los autores describen el sitio El Centinela como un predio de 10.2 hectáreas, con un volumen de 124,538 metros cúbicos, aquí se han depositado (hasta el año de 1999) un estimado de 1'279,600 llantas. Uno de los riesgos principales relacionados con la acumulación de llantas es un incendio, ya que el humo de un incendio de llantas contiene elementos altamente contaminantes como son los hidrocarburos poliaromáticos, monóxido de carbón, dióxido de sulfuro y dióxido de nitrógeno, además se produce un aceite pirolítico que puede escurrirse y contaminar suelos y fuentes de agua cercanos.

Para concluir con los estudios realizados en Mexicali, el equipo de investigación ha abordado el tema de la separación y el reciclaje de materiales. Ojeda y colaboradoras han clasificado los residuos domésticos de acuerdo a su potencial (Ojeda y cols. 2000 y 2002). Las autoras establecen que hay residuos que son reciclables y que en la ciudad tiene infraestructura para procesarlos, en segundo lugar están los residuos reciclables pero no hay un sistema para aprovecharlos y procesarlos, mientras que un tercer tipo son los residuos que no son reciclables por sus características. La siguiente tabla presenta los resultados de este estudio.

Tabla 1. Potencial reciclable de residuos domésticos en Mexicali

Tipo de residuos	Subproductos	Porcentaje de los Residuos Domésticos
No reciclable	Desechos sanitarios, pañales, cierto tipo de vidrio, bolsas de plástico, celofán, ciertos tipos de papel y cartón, papel encerado, papel plastificado, otros	29

	subproductos de materiales combinados.	
Reciclables que ya cuentan con un mercado estable para su comercialización	Papel periódico, papel de empaque, revistas, papel de oficina, cartón, vidrio, aluminio, hierro, otros metales.	10
Reciclable con potencial para comercialización	Orgánicos de cocina y de jardín, madera, textiles, cuero, plásticos rígidos, poliestireno y otros.	61

Después de obtener los porcentajes por tipo de residuos, las investigadoras usan los datos para estimar la producción de reciclables en la zona de Nuevo Mexicali donde se ubican 41 colonias y las viviendas producen cada semana 452 toneladas de residuos. De ese total, 276 toneladas corresponden a orgánicos que se pueden utilizar para producir composta, 45 toneladas son de inorgánicos reciclables, y 131 toneladas de materiales no reciclables. El 71% de los residuos domiciliarios pueden ser transformados, reutilizados o reciclados. Estas acciones son importantes porque ayudan a alargar la vida útil de los sitios de disposición final, reduce la explotación de recursos naturales y evita la degradación ambiental que produce el entierro indiscriminado de residuos municipales.

Recientemente dos de las investigadoras obtuvieron sus respectivos grados de doctorado con estudios especializados en análisis de residuos. En primer lugar está Carolina Armijo quien se graduó recientemente del programa de Doctorado en Prevención de la Contaminación y Sustentabilidad de la Universidad de Rotterdam (2006) y quien tiene intereses académicos la educación para la sustentabilidad y el manejo apropiado de los residuos. En segundo lugar está Eliza-

beth Ramírez quien se graduó en febrero del 2007, del Programa de Doctorado en Ciencias Sociales del CIESAS Occidente, con una tesis titulada *“El comercio de llantas usadas importadas en Mexicali y su impacto ambiental.”* Con estos logros académicos serán tres doctoras que estarán trabajando en proyectos de residuos en el Instituto de Ingeniería de la UABC. Además actualmente cuentan con dos estudiantes de doctorado, Gabriela Lozano e Ysabel Márquez, que pronto estarán trabajando profesionalmente esta línea de investigación.

Sin duda los investigadores y estudiantes de la Universidad Autónoma de Baja California han contribuido y continuarán contribuyen de forma relevante al mejor entendimiento de las diferentes facetas del problema de la basura en México y los retos que implican su manejo.

VI. MORELIA

En los últimos años de la década de los noventas, Otoniel Buenrostro realiza sus estudios de los residuos municipales en Morelia, mismos que le llevan a la obtención del grado de Doctor en Ciencias (Biología) en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Su tesis se titula *“Los residuos sólidos municipales. Clasificación de generadores y modelos de generación potencial”* y contiene cinco estudios de la generación de residuos en la ciudad de Morelia (Buenrostro 2000).

Un año antes, en 1999, se publicaron dos artículos importantes que lanzaban los estudios de residuos en el estado de Michoacán. El artículo de Análisis de los residuos de mercados municipales (Buenrostro y cols. 1999) y el artículo de Israde y colaboradores sobre la filtración de lixiviados con metales pesados y la consecuente contaminación de

uno de los acuíferos de Morelia (Israde y cols. 1999).

En su libro publicado en el año 2001, Ottoniel Buenrostro nos presenta un estudio detallado de la producción de residuos municipal en la ciudad de Morelia. La generación de residuos municipales es un problema importante porque a diario se producen altos volúmenes de basuras, porque su disposición es por lo general inadecuada; por la contaminación que ocasiona el entierro de residuos en tiraderos sin un control (Buenrostro 2001).

El objetivo central del trabajo de Buenrostro es encontrar un modelo conceptual que nos ayude a entender mejor las variables que inciden sobre la producción de residuos en una zona urbana como Morelia (Buenrostro 2001; Buenrostro, Bocco y Cram 2001). Una primera tarea que se propone es clasificar a los tipos de generadores de residuos de acuerdo a los tipos y la escala de sus actividades.

Se definen tres tipos principales de generadores:

- Urbanos: que incluyen los generadores residenciales y no-residenciales.
- Industriales: cuya actividad es la transformación y la manufactura.
- Rurales: con actividades agropecuarias principalmente.

De acuerdo con el autor, las familias (urbano – residencial) son el principal tipo de generador de residuos en Morelia, ya que las 123,307 viviendas habitadas por familias constituyen el 85% del total de generadores en el municipio.

Los resultados del estudio establecen que cada habitante produce unos 629 gramos de residuos domésticos que en total contribu-

yen con 321 toneladas diarias de residuos, lo que constituye el 87% de los residuos sólidos municipales (367 toneladas/día) de Morelia. Los tipos de materiales que tienen una mayor contribución a la composición de los residuos domésticos son: los orgánicos de cocina (51%), el pañal desechable (8%), el papel y cartón (8%), orgánicos de jardín (5%), tierra (5%), vidrio transparente 4%), bolsas de plástico 4% y envases de plástico rígido (4%).

Buenrostro y sus colaboradores afirman que un problema inicial es que las autoridades locales no tienen datos, ni un registro adecuado de los montos y tipos de residuos municipales que se producen y se disponen diariamente en Morelia, tampoco tienen información necesaria sobre el número de camiones de recolección en operación, los viajes que hacen las camionetas de permisionarios y los montos que recolectan, ni se conocen las rutas de recolección que siguen los recolectores (Buenrostro, Bocco y Bernache 2001).

El servicio de recolección de residuos se otorga con una estrategia mixta. Por una parte están los 34 camiones recolectores del municipio que brindan un servicio público en las zonas céntricas de la ciudad y, por otra parte, las 8 organizaciones de permisionarios que cuentan con una flota de 350 camionetas para dar un servicio privado. El servicio de recolección no es 100% eficiente y los usuarios tienen que pagar una “propina” para que los permisionarios se lleven sus basuras. Por lo tanto la recolección sigue la lógica de los intereses de los choferes y operadores de los camiones del ayuntamiento y de las zonas más lucrativas para los permisionarios. Consecuentemente

hay zonas que son mal atendidas o no tienen un servicio formal.

La disposición final es otro problema, porque el entierro de las basuras en el tiradero municipal no cumple con los requisitos mínimos de protección ambiental. Así lo han demostrado los estudios de Israde y sus colaboradores (1999 y 2005). Los estudios geológicos en el lugar en que se ubica el tiradero municipal han detectado una filtración de metales pesados y otros contaminantes que han alcanzado el manto friático en el subsuelo (esta es la zona de recarga del Acuífero de Morelia). Para empezar, varias lagunas de lixiviados se pueden observar en el sitio del tiradero municipal, estas lagunas “drenan directamente los lixiviados, fundamentalmente a través de fracturas del substrato basáltico ... sobre todo en la época de lluvias (junio septiembre) en la que las lagunas incrementan en área y fluyen hacia el sistema acuífero” (Israde y colaboradores 1999:41). El tiradero ha recibido más de medio millón de toneladas de residuos municipales desde que empezó a funcionar en el año de 1984 a la fecha del estudio (1999). El sitio cubre 1.5 hectáreas y la capa de residuos enterrados tiene una profundidad de 25 metros. Pero en el sitio no sólo se han enterrado residuos municipales, sino que existe una sección dedicada a la disposición de desechos provenientes de la manufactura industrial de cerillos, aceites, baterías automotrices, resinas, pinturas, además de los desechos provenientes del rastro municipal.

Los estudios de Israde y cols. (1999 y 2005) demuestran que la contaminación de un acuífero por metales pesados y fenoles tiene un origen humano cuyas raíces se encuentran en la producción de basuras y su

disposición final en tiraderos, como el de Morelia, que no cumplen con las normas que establecen los requisitos de localización, infraestructura y funcionamiento de un relleno sanitario. La contaminación por cadmio, plomo, zinc, níquel y arsénico es un hecho en el acuífero occidental del municipio de Morelia.

En el año 2003, Buenrostro e Israde publican un artículo que versa sobre “*La gestión de los residuos sólidos municipales en la cuenca del Lago de Cuitzeo, México.*” En esta investigación de la producción y disposición de residuos de ocho municipios localizados en el perímetro del Lago de Cuitzeo, el segundo en importancia en el estado de Michoacán. Los hallazgos apuntan a un perfil de composición material de los residuos que caracteriza a localidades rurales y las diferencia de las urbanas; entre las características están la presencia de mayor proporción de materia orgánica, cenizas y tierra/piedras. En cierto sentido, los residuos domésticos rurales son más benévolos que los residenciales urbanos, pero los problemas graves en la disposición final contribuyen de manera sustancial a la degradación ambiental regional. Los tiraderos municipales carecen del control mínimo de los vectores de contaminación que ocasiona el entierro de residuos, por lo que las casi 425 mil toneladas acumulados en diversos puntos de los ocho municipios son un foco rojo (Buenrostro e Israde 2003).

También en el año de 2003, publica con Gerardo Bocco un artículo que trata la cuestión del manejo de residuos sólidos municipales en México, sus metas y perspectivas. En este texto los autores se enfocan a presentar los principales problemas de la gestión local de los residuos en la república

mexicana (Buenrostro y Bocco 2003). Más recientemente, Buenrostro ha obtenido financiamiento para desarrollar el proyecto de investigación sobre las “Estrategias para la gestión integral de los residuos residenciales en Morelia, Michoacán”

El Instituto de Investigaciones sobre Recursos Naturales (INIRENA) de la Universidad Michoacana incorporó, a partir del 2004 a la Dra. Liliana Márquez Benavides. Liliana obtuvo su doctorado en biotecnología en la Universidad Strathclyde en Glasgow, Reino Unido en el año 2004. Entre sus intereses académicos se encuentran los estudios de la degradación de los residuos, de la producción de biogás, estudios de rellenos sanitarios y estudios de laboratorio replicando condiciones de entierro de residuos. Uno de sus proyectos recientes se dedica a la “Determinación de las características físicas de los residuos sólidos en el municipio de Morelia.”

Los investigadores especializados en estudios de residuos en la Universidad Michoacana son de primer nivel, su desarrollo profesional tiene un brillante futuro y con la formación de estudiantes de posgrado siguen consolidando su equipo de investigación. En el futuro cercano nos seguirán brindando estudios interesantes sobre los residuos sólidos en el estado de Michoacán, con implicaciones y hallazgos que podrán ser utilizados en otras partes de la república.

VII. ESTUDIOS EN OTRAS CIUDADES

Una revisión detallada de los estudios realizados por otros investigadores queda, debido al espacio disponible en este caso, pendiente para otro momento. Sin embargo, se pueden identificar y abordar brevemente a

algunos de los equipos de investigación han dado pasos hacia la consolidación de los proyectos de investigación que son sistemáticos y que llevan una continuidad en el tiempo. Lo anterior es importante porque hay estudiantes o investigadores que en un momento realizaron una tesis o una investigación y que después han dejado el estudio de los residuos y han pasado a investigar en otras áreas de interés académico.

Entre los investigadores que han trabajado en otras ciudades y que reconocemos sus aportes valiosos está Lorenzo Franco Escamirosa, quien con otros tres colaboradores (Carlos del Carpio, Gabriel Castañeda y Carlos Quintal) publicaron en el 2001 el libro *“Manejo de los residuos sólidos en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.”* También están las investigaciones realizadas por María Rosa Sauri y sus colaboradores (1986, Sauri 1991), así como las de A. Cano (1999) que han analizado el problema de los residuos en Mérida. Por otra parte, José Luis Guevara ha realizado investigación sobre el aprovechamiento y la recuperación de residuos sólidos municipales en Chetumal (Guevara 2002)

En Hermosillo, bajo el liderazgo de Víctor Corral, se han realizado estudios de residuos desde la perspectiva de la psicología ambiental, estudios acerca de los determinantes del comportamiento ambiental en el caso de re-uso y reciclaje de residuos, así como la comparación de medidas de auto reporte verbal y de medición de residuos generados (véase: Corral y cols. 1995, Corral 1996 y 2003). A su vez, Encinas y sus colaboradores (1996) publicaron un artículo sobre el impacto ambiental de los residuos en la ciudad de Hermosillo.

En Tepic se han formado estudiantes de la Universidad Autónoma de Nayarit, la Maestra Claudia Saldaña obtuvo su grado de maestría con una tesis sobre la producción de residuos domésticos y la gestión municipal en Tepic (Saldaña 2003) y uno de sus estudiantes obtuvo el grado de QFB con un estudio bacteriológico de los residuos sanitarios (Pinto 2002).

Actualmente Claudia Saldaña es estudiante del doctorado en la Universidad de Guadalajara y su tema de tesis trata la participación social y la gestión pública de los residuos municipales. El caso de San Luis Potosí donde Francisco Rangel (2003) realizó una investigación para su tesis de maestría en el Colegio de San Luis. La tesis ofrece una descripción detallada y un análisis del manejo de los residuos, de particular importancia es el sector informal, tanto en los procesos de recolección de residuos en la ciudad, como en el basurero de Peñasco donde laboran separando residuos cientos de pepenadores. También Francisco se encuentra en proceso de formación doctoral, en el CIESAS Occidente, y el tema de su tesis actual es el riesgo a la salud de los habitantes de El Huizache, un poblado pequeño muy cercano al confinamiento de residuos peligrosos ya clausurado de Guadalcazar, S.L.P.

VIII. PALABRAS FINALES

Desde mi perspectiva, entre lo más destacado que se ha publicado recientemente sobre el tema de los residuos es el volumen temático que dedicó una revista inglesa a los estudios de basura en México. En este volumen 39 de *Resources, Conservation and Recycling* se presentan sendos artículos algunos de los principales investigadores de

este tema en México, como son Berthier (2003), Ojeda, Armijo y Ramirez (2003), Buenrostro y Bocco (2003), Ojeda y Beraud (2003), Armijo, Ojeda y Ramírez (2003), Víctor Corral (2003) y Bernache (2003). El volumen aborda múltiples temas desde diferentes disciplinas de estudio y en un número importante de ciudades del país; esto lo hace un producto colectivo muy atractivo para los estudiosos del problema de la basura.

También están los trabajos de Martín Medina sobre el manejo sustentable de residuos y el reciclaje en América Latina (Medina, 1997 y 1999), De acuerdo con Medina (1997), la gestión integral de los desechos sólidos se concreta en cuatro tipo de acciones, empezando por la principal que es la reducción de los desechos, siguiendo con el reciclaje de residuos separados, el composteo de materia orgánica y, por último, la disposición final segura de lo que no se puede reaprovechar en rellenos sanitarios completos.

Los estudios de Sancho y Rosiles han dado la pauta en el conocimiento sobre los montos, los tipos de residuos sólidos y los estilos de gestión municipal de los residuos en México (Sancho y Rosiles 1999, Rosiles 1999). De la misma manera, los estudios de Israde y sus colaboradores (1999 y 2005) nos han aportado la certeza sobre los patrones de flujo de lixiviados peligrosos fuera de los sitios de disposición final y cómo contaminan con metales pesados y otros residuos peligrosos los mantos acuíferos regionales, como en el caso de Morelia.

Por último, acaba de publicarse el artículo colectivo de Buenrostro, Ojeda y Márquez (2007), mismo que marca un paso al frente en colaboración académica y trabajo con-

junto sobre el tema de los desechos domésticos contaminantes en dos regiones del país. Los autores establecen que la producción de DDCs es del orden de 3.7% en Mexicali y 1.03% en Morelia, en la primer ciudad los productos de mantenimiento de la casa, los limpiadores domésticos y las baterías/pilas fueron los productos más frecuentes, mientras que en la segunda ciudad los productos de limpieza, los cosméticos y los insecticidas fueron los más comunes. Para los ayuntamientos, la gestión sustentable de los residuos implica integrar las acciones públicas y sociales en tres frentes: cambiar los

hábitos de consumo para reducir la generación de basura; separar y reciclar un mínimo de 10% de los residuos; y, finalmente, construir sitios de disposición final de residuos seguros, donde los vectores de contaminación estén controlados. En la transición de los procesos de manejo de basura a los sistemas de gestión integral de residuos, el clave es, sin duda, la participación ciudadana, ya que no se puede pensar en un desarrollo sustentable en este rubro sin el componente de gestión social en la lógica de un compromiso con la naturaleza y el ecosistema regional.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, Margarita y Héctor Salas 1995 *La basura. Manual para el reciclamiento urbano*. Tercera Reimpresión (original 1988). Editorial Trillas, México D.F.
- Armijo, C., S. Ojeda y E. Ramírez 2003 "Mexican educational institutions and waste management programmes: a University ase study." *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 39 (3) 283-296.
- Arias, V., A. Balderas, E. Flores y J. Sosa 2001 Manejo de residuos sólidos municipales en la zona metropolitana de Guadalajara. Diagnóstico de la generación, transporte y disposición final de la basura dentro de la ciudad de Guadalajara y propuestas de solución" reporte de trabajo en servicio social, Departamento de procesos Tecnológicos e Industriales, Ingeniería Ambiental, ITESO, Pro Hábitat-ITESO-INGENSA, Guadalajara, México.
- Bernache, G. y W. Rathje 1988 "Residential urban refuse: hazardous wastes in the U.S.A. and Mexico", ponencia presentada en la Cuarta Conferencia Internacional en Manejo de Desechos Sólidos Municipales y Material Secundario, diciembre 6-9, Philadelphia, EU.
- Bernache, Gerardo 1994 A diachronic study of food adquisition and consumption in Central Mexico. 1980-1987" Tesis doctoral, presentada para obtener el grado de Philosophy Doctor, especialidad en antropología. Universidad de Arizona, Tucson.
- 2003 "The environmental impact of municipal waste management: the case of Guadalajara metro area" en *Resources, Conservation & Recycling*, núm. 39, Northampton, Inglaterra, pp. 223-237.
- 2006 *Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental*. CIESAS Publicaciones de la Casa Chata, Tlalpan. México, D.F.
- Bernache, G., M. Bazdresch, J. L. Cuéllar y F. Moreno 1998 *Basura y Metrópoli. La gestión social y pública de los residuos sólidos municipales de la zona metropolitana de Guadalajara*, Universidad de Guadalajara-El Colegio de Jalisco-ITESO-CIESAS, Guadalajara, México.
- Buenrostro, Otoniel 2000 "Los residuos sólidos municipales. Clasificación de generadores y modelos de generación potencial". Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- 2001 *Los Residuos Sólidos Municipales: Perspectivas desde la Investigación Multidisciplinaria*, Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.
- Buenrostro, O., G. Bernache, S. Cram y G. Bocco 1999 Análisis de la generación de los residuos sólidos en los mercados municipales de Morelia". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* Vol. 15 (1) 27-32.
- Buenrostro, O., G. Bocco, y G. Bernache 2001 "Urban solid waste generation and disposal in Mexico: a case study" en *Waste Management & Research*, núm. 19, International Solid Waste Association, Northampton, Inglaterra, pp.169-176.
- Buenrostro, O., G. Bocco, y S. Cram 2001 "Classification of sources of municipal solid wastes in developing countries" en *Resources, Conservation and Recycling*, núm. 32, Elsevier, Inglaterra, pp. 29-41.
- Buenrostro, O. y G. Bocco 2003 "Municipal solid waste management in Mexico. Goals and perspectives", en *Resources, Conservation & Recycling*, núm. 39, Northampton, Inglaterra, pp. 238-265.
- Buenrostro, O. e I. Israde 2003 La gestión de los residuos sólidos municipales en la cuenca del Lago de Cuitzeo, México." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 19 (4) 161-169.
- Buenrostro, O., S. Ojeda y L. Márquez 2007 "Comparative analysis of hazardous household waste in two Mexican regions." *Waste Management* 27 (2008) 792-801.
- Candelario Mejía, Gerardo 1999 "Los desechos domésticos contaminantes: generación, impacto y propuestas de solución basadas en la educación ambiental en la zona metropolitana de Guadalajara", tesis de maestría en ciencias de la educación ambiental, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.

- Casparius, María y colaboradores 1999 *Manual de reciclaje. Viviéndole mundo de una manera diferente*. Una publicación de Pro Hábitat, A.C., Guadalajara, Jalisco
- Castro, Pablo 1999 La educación ambiental (no formal) como una alternativa viable para reducir los residuos domésticos en la zona metropolitana de Guadalajara." Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Educación Ambiental. Universidad de Guadalajara, CUCBA.
- Cano, A. 1999 "Implementación de un programa para el manejo de la basura por parte del ayuntamiento de Mérida" en Cabrero, E. y G. Nava (coord.) *Gerencia pública municipal. Conceptos básicos y estudios de caso*, CIDE-M. A. Porrúa, México, pp. 141-168.
- Castañeda, Carmen 1998 "La vida material de Guadalajara: Discurso, condiciones y propuestas para mejorar la sanidad de las calles, Siglo XVIII", ponencia presentada en el II Coloquio de Historia Urbana, Ciudad Guzmán, Jalisco, México.
- Castillo, Héctor 1983 *La sociedad de la basura: caciquismo en la ciudad de México*, Cuadernos de Investigación Social núm. 9, Instituto de Investigaciones Sociales/UNAM, México (la segunda edición de este libro fue publicada en 1990).
- 1984 *El basurero. Antropología de la miseria*, EDAMEX, México.
- 2003 "Garbage, work and society" en *Resources, Conservation & Recycling*, núm. 39, Northampton, Inglaterra.
- CEDHJ (Comisión Estatal de Derechos Humanos Jalisco) 1999 *Derecho a la salud y a un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Recomendación 2/99*, manuscrito no publicado, Comisión Estatal de Derechos Humanos Jalisco, Guadalajara, México.
- Cortinas Nava, Cristina 1999 "Manejo de residuos sólidos en México: visión de la SEMARNAP", en *Memorias del Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Residuos Sólidos*, Sustentata, A.C.-INE- SEMARNAP, México, pp. 101-106.
- Corral, Victor 1996 "A structural model of reuse and recycling in Mexico" en *Environment and Behavior*, vol. 28, núm. 5, Sage Publications, California, EU, pp. 665-696.
- 2003 "Situational and personal determinants of waste control practices in northern Mexico: a study of reuse and recycling behaviors" en *Resources, Conservation & Recycling*, núm. 39, Northampton, Inglaterra, pp. 1-17.
- Corral, V., G. Bernache, L. Encinas y L. Garibaldi 1995 "A comparison of two measures of reuse and recycling behavior: self-report and material culture" en *Journal of Environmental Systems*, vol. 23, núm. 4, Baywood Publishing, Nueva York, EU, pp. 313-327.
- Deffis Caso, Armando 1989 *La Basura es la Solución*. Editorial Concepto. México, D.F.
- Encinas, L., B. Valenzuela y L. Garibaldi 1996 "El impacto ecológico de los desechos sólidos en el mundo actual" en *Revista Universidad*, abril de 1996, nueva época, núm. 5, Universidad de Sonora, Hermosillo, México, pp. 37-42.
- Engler, Sara E. 2003 "La separación y recuperación de los desechos reciclables en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco. La cultura de rescatar lo que no es basura", informe de proyecto de investigación, becaria del Programa Fulbright García Robles, COMEXUS, con residencia en el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) Occidente, manuscrito no publicado, Guadalajara, Jalisco.
- Franco Escamiroso, L., C. del Carpio, G. Castañeda, y C. Quintal 2001 *Manejo de los residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*, Universidad Autónoma de Chiapas-CONACYT-Plaza y Valdez, México.
- Gaxiola, Eladio 1995 "Basura doméstica y frontera norte. Diagnóstico de los patrones de consumo en Mexicali, B.C.", tesis de maestría en arquitectura, Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C.
- Gómez, J., E. Hernández y E. Zamudio 1992 "El Aseo Público en Guadalajara a Través del Tiempo (1700-1910)" en M. Caldera, M. E. Delgadillo y S. Gómez (coord.) *Capítulos de la historia de la ciudad de Guadalajara*, to-

- mo 1, Ayuntamiento de Guadalajara. Guadalajara, México, pp. 200-229.
- González, Noemí 1994 "Planta de tratamiento y reciclaje de desechos inorgánicos con centros de investigación ecológica", tesis de licenciatura en arquitectura, Facultad de Arquitectura, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México.
- Guevara, José Luis 2002 *Aprovechamiento y recuperación de desechos sólidos municipales*, informe final de investigación, proyecto financiado por el Sistema de Investigación Regional Justo Sierra del CONACYT, Universidad de Quintana Roo, Chetumal, México. Disponible en <http://dzinbanche.biblos.uqroo.mx>
- Guillermoprieto, Alma 1990 "Letter from Mexico City" en *The New Yorker*, Sept 17, Nueva York, EU, pp. 93-104.
- INE 1997 *Estadísticas e indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos*. INE-SEMARNAP, México, D.F.
- Israde, Isabel 2000 "Evaluación del impacto ambiental al agua subterránea del tiradero de Morelia y su afectación en poblaciones del entorno", informe final para el Sistema de Investigación J. M. Morelos del CONACYT, manuscrito no publicado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.
- Israde, I., R. Rodríguez, T. Silva, A. Carrillo, y A. García 1999 "El tiradero de Morelia y sus lixiviados" en *Vinculación*, núm. 6, noviembre, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, pp. 35-43.
- Israde, I., O. Buenrostro, y A. Carrillo 2005 "Geological characterization and environmental implications of the placement of Morelia dump, Michacan, central México." *Journal of Air and Waste Management*. Vol. 55, Núm. 5, páginas 755-764
- Long, Alexander W. 1999 "La recuperación informal de los residuos sólidos en Guadalajara", informe de investigación, estudiante de intercambio procedente de la Universidad de York, Toronto, Canadá, manuscrito no publicado, Consorcio para la Movilidad de Estudiantes de Educación Superior en Norte América, Guadalajara, México.
- López, Gonzalo 1998 "El montículo de Coyula: un rescate arqueológico" en *Estudios Jalisciences*, núm. 32, El Colegio de Jalisco, Guadalajara, pp. 7-18.
- Medina, Martín 1997 "Manejo de desechos sólidos y desarrollo sustentable" en *Comercio Exterior*, octubre, México, pp. 830-837.
- _____ 1999 "Reciclaje de desechos sólidos en América Latina" en *Frontera Norte*, vol. 11, enero-junio, pp. 7-32.
- Ojeda, Sara 1999 "Niveles de conciencia ambiental en una comunidad: un instrumento para diseñar programas de educación ambiental", tesis de Doctorado en Ciencias de la Educación, Universidad Iberoamericana, Sede Noroeste, Tijuana.
- Ojeda, Sara, I. González y H. Silva 1997 *La contaminación por basura y sus efectos en la ciudad de Mexicali*, reporte final de investigación, Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali.
- Ojeda, Sara, R. Muñoz y F. González 1998 "Análisis estadístico del comportamiento de los residuos sólidos domiciliarios en una comunidad urbana" en *Frontera Norte*, vol. 10, núm. 19, enero-junio, El Colegio de la Frontera Norte, Tijuana, pp. 65-76.
- Ojeda, S., C. Armijo y E. Ramírez 2000 "The potential for recycling household waste: a case study from Mexicali, Mexico" en *Environment & Urbanization*, vol. 12, núm. 2, pp.163-173.
- _____ 2002 "Formal and informal recovery of recyclables in Mexicali, Mexico: handling alternatives" en *Resources, conservation and recycling*, vol. 34, Elsevier, Northampton, Inglaterra, pp. 273-288.
- _____ 2003 "Characterization and quantification of household solid wastes in a Mexican City" en *Resources, conservation and recycling*, vol.39, Elsevier, Northampton, Inglaterra, pp. 211-222.
- Ojeda, Sara y José L. Beraud 2003 "The municipal solid waste cycle in Mexico: final disposal" en *Resources, conservation and recycling*, vol. 39, Elsevier, Northampton, Inglaterra, pp. 239-250.

- Packard, Vance 1960 *The Waste Makers*, David McKay Company, Nueva York.
- Phillips, D., I. Restrepo, W. Rathje
_____ 1984 "El Proyecto Basura" en *American Behavioral Scientist*, vol. 28, núm. 1, septiembre-octubre, Sage publications. California, pp. 139-153.
- Pinto, Jesús Enrique 2002 "Evaluación de riesgo biológico por coliformes totales, *Salmonella spp.* y *Streptococcus feacalis* en basura de Tepic", tesis de químico fármaco biólogo, Facultad de Ciencias e Ingenierías, Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic.
- Quadri, Gabriel 1996 "Basurología" en *Perfiles Liberales / Edición 47*, México, pp. 79-81.
- Ramírez, E., S. Ojeda, F. González, P. Luna, C. Armijo, P. Phillips, y P. Clarkson 2002 *Waste tires: procedures for characterizing and quatifying a final disposal site*, University College at Northampton, Northampton.
- Ramírez, J. M. y A. Chávez 1998 "La gestión municipal de los residuos sólidos en el AMG" en J. M. Ramírez (coord.), *¿Cómo gobiernan Guadalajara? Demandas ciudadanas y respuestas de los ayuntamientos*, UNAM-M. A. Porrúa, México, pp. 157-192.
- Rangel, Francisco Javier 2003 "La gestión de los residuos sólidos municipales en el área del municipio de San Luis Potosí", tesis de maestría en administración y políticas públicas, El Colegio de San Luis, San Luis Potosí.
- Rathje, William 1991 "Once and future landfills" en *National Geographic*, vol. 179, núm. 5, Washington, pp. 116-134.
- Rathje, W., M. Reilly, y W. Hughes 1985 *Household Garbage and the Role of Packaging. The United States/Mexico City Household Refuse Comparison*, Final Report for The Solid Waste Council of the Paper Industry, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- Rathje, W., D. Wilson, V. Lambou y R. Herndon 1987 *Characterization of hazardous household wastes from Marin County California and New Orleans, Louisiana*, Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nevada.
- Rathje, William y Cullen Murphy 1992 *Rubbish! The Archaeology of Garbage*, Harper Perennial, Nueva York.
- Restrepo, I. y D. Phillips 1983 *La basura. Consumo y desperdicio en el Distrito Federal*, Instituto Nacional del Consumidor, México, (Reimpreso en 1985 por el Centro de Ecodesarrollo).
- Restrepo, I., G. Bernache y W. Rathje 1991 *Los demonios del consumo. Basura y Contaminación*, El Centro de Ecodesarrollo, México.
- Rodríguez, María del Refugio 1998 "Estudio ambiental sobre los efectos que ejercen los subproductos de desecho sólidos de tipo doméstico en el vertedero al aire libre de Matatlán, Municipio de Tonalá, Jalisco", tesis profesional de licenciatura en biología, División de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- Rosiles, Gustavo 1999 "Manejo de los residuos sólidos en México" en *Memorias del Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Residuos Sólidos*, Sustenta, A.C./INE/ SEMARNAP, México, pp. 93-100.
- Saldaña, Claudia Estela 2003 "Diagnóstico de la generación de los residuos sólidos domésticos en la ciudad de Tepic", tesis de maestría en ciencias ambientales, Facultad de Ciencias e Ingenierías, Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic.
- Sánchez, J. M. Mata, I. Semadeni, V. Reyna y M. Rodríguez 1998 *Impacto ambiental en relleños sanitarios*, Asociación Mexicana para el Control de los Residuos Sólidos y Peligrosos, A.C. (AMCRESPEC), México.
- Sancho, Jaime y Gustavo Rosiles 1999 *Situación actual del manejo integral de los residuos sólidos en México*, SEDESOL, México, 20 p.
- Sauri Riancho, María Rosa 1991 "Características de los desechos sólidos domiciliarios generados en la ciudad de Mérida, Yucatán." *Boletín Académico* Núm. 16, páginas 15-21, Mérida.
- Sauri Riancho, M. R. y colaboradores 1986 "Problemática de la disposición de los residuos sólidos en Mérida, Yucatán." *Memorias del V Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y*

- Ambiental. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, páginas 217-218.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 1999 *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*, SEMARNAT, México (primera re-edición 2001).
- _____ 2001a *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales*, SEMARNAT, México.
- _____ 2001b *Bases de política para la prevención de la contaminación del suelo y su remediación*, SEMARNAT, México.
- Severini, Pamela 1995 *La gestión de la basura en las grandes ciudades*, avances de investigación, Centro de Investigaciones sobre América del Norte, UNAM, México.
- Tostado, L. R. y D. Cabrera 1992 "Manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos de Guadalajara", tesis de licenciatura en economía, Facultad de Economía, Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- Trejo, Rodolfo 1994 *Procesamiento de la basura urbana*, Trillas, México.
- Velásquez Patiño, Ana Carolina 2006 "Gestión ambiental y tratamiento de residuos urbanos. Propuesta para la Zona Metropolitana de Guadalajara a partir de las experiencia de la Unión Europea." Tesis para obtener el grado de doctorado en el Programa Interdepartamental de Medio Ambiente. Universidad Complutense de Madrid.
- Villaseñor, Horacio 1992 "Manejo integral de los residuos sólidos municipales de Guadalajara" tesis de licenciatura en arquitectura, Facultad de Arquitectura, Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- Weigand, Phil 2003 "Coyula: una ruina arruinada en el municipio de Tonalá, Jalisco", en *Estudios de la Ciénega*, vol.4, núm.7, Centro Universitario de la Ciénega, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, pp. 101-115. (manuscrito original de 1996).

Caracterización de los Residuos Sólidos Peligrosos en las viviendas de Morelia, Michoacán, México

Francelia Pinette Gaona, Otoniel Buenrostro Delgado, Liliana Márquez-Benavides

Instituto de Investigaciones Sobre los Recursos Naturales. Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo
Av. San Juanito Itzicuaró S/N, Col. San Juanito Itzicuaró. Morelia, Mich. C.P. 58330, Tel. (443) 3272351 México.
fran_pinette@yahoo.com.mx, otonielb@zeus.umich.mx, lmarquez@zeus.umich.mx

Resumen

La ciudad de Morelia, al igual que otras ciudades de países en vías de desarrollo, experimenta una generación creciente de Residuos Sólidos (RS), muchos de los cuales son de carácter peligroso. Lo anterior, rebasa la capacidad de respuesta de los municipios, quienes tienen la obligación de atender múltiples necesidades debido al proceso de urbanización acelerado, lo cual, en el caso de los RS, incide en una disposición inadecuada de éstos que se refleja, en serios problemas ambientales y de salud pública (Buenrostro, 2001).

Esta investigación se realizó con el objetivo de caracterizar y cuantificar los residuos sólidos peligrosos domésticos (RSPD), con base en un estudio de generación de los residuos sólidos domésticos (RSD) por estrato socioeconómico (estratos bajo, medio y alto).

Los resultados de la caracterización de los RSPD indicaron una proporción del 1.6% del total de RSD. La cantidad y variedad de los productos que dan origen a residuos peligrosos en las viviendas, no está correlacionado con el ingreso económico ni la escolaridad; asimismo, se observó una diferencia importante, tanto en las marcas, como en las presentaciones de los productos utilizados en cada estrato socioeconómico. De acuerdo con la cantidad estimada de 442 toneladas/día de RSD se estimó una generación de 7.1 toneladas /día de RSPD.

Palabras clave: caracterización; residuos; peligrosos; Morelia.

Abstract

The city of Morelia, like other cities of developing countries, experiences an increasing generation of solid wastes (SW), many of them with hazardous characteristics. The previous

thing exceeds the capacity of answer of the municipalities that have the obligation to take care of manifold necessities due to the accelerated process of urbanization. In the case of SW, affects an inadequate disposition of which it is reflected, in serious environmental problems and of public health (Buenrostro, 2001).

This investigation was made with the objective to characterize and to quantify the domestic hazardous solid wastes (DHSW), with base in a study of generation of the domestic solid wastes (DSW) by socioeconomic strata (low, medium and high).

Results of the characterization of the DHSW indicated a proportion of the 1.6% of the total of DSW. The amount and variety of the products that give origin to hazardous wastes in dwellings, are not correlated with the income, nor the schooling; also, an important difference was observed, as much in the marks, as in the presentations of products used in each socioeconomic strata. In agreement with the considered amount of 442 tons/day of DSW, a daily generation of 7.1 tons of DHSW was estimated for Morelia.

Key words: Characterization; wastes; hazardous; Morelia.

I. INTRODUCCIÓN

Los RSD son aquellos que se generan en los hogares; la composición de éstos es resultado de los hábitos de consumo cotidianos y pueden brindar valiosa información para la planeación de los sistemas de aseo público.

El consumo de bienes en las viviendas ocasiona que se desechen diferentes

materiales en forma de productos que ya perdieron su valor de uso, empaques y envases como son: productos de limpieza, pilas, jeringas, medicamentos caducos, aceites automotrices, shampoo, pinturas y solventes, entre otros. Los anteriores, por sus características se consideran peligrosos o potencialmente peligrosos para la salud de la población y el medio ambiente. La generación de estos residuos es un problema que va en aumento y es resultado de los patrones de consumo de la sociedad y de una escasa legislación referente a los RSPD (Buenrostro *et al.*, 2006).

1.1 La generación y disposición de los Residuos Sólidos en Morelia

Entre los principales factores que influyen en la generación de RS están el ingreso económico y el tamaño de la población.

En la ciudad de Morelia se generan aproximadamente 700 toneladas por día de residuos sólidos, lo que representa un serio problema ambiental, debido a la disposición inadecuada de éstos, ya que los RS generados se depositan en un terreno de 18 hectáreas que se renta a particulares (Buenrostro, *et al.*, 2001).

De acuerdo con Israde y Garduño (1999), cuando los RS se depositan en el tiradero municipal, la fermentación de los residuos orgánicos, junto con la humedad de los residuos y la externa da lugar a la producción de lixiviados de composición muy compleja. Al filtrarse éstos a través del suelo, especialmente cuando es permeable, contamina los suelos con microorganismos patógenos y metales pesados. Esta contaminación se da por los depósitos de sustancias químicas, residuos de tipo industrial, hospitalarios y domésticos, que son considerados de los más importantes. En el tiradero municipal de Morelia, la

constitución de los suelos es muy permeable por la presencia de arenas y gravas; la pendiente natural del terreno está en dirección al Este (aproximadamente 15 grados), drenando los lixiviados hacia la cuenca natural de 40 acuíferos de Morelia. En el área también existen fracturas y fallas geológicas de orientación preferencial Oeste - Este, las cuales forman parte de la zona de recarga natural de acuíferos de la cuenca de Morelia (Israde y Garduño, 1999).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de Residuos Sólidos Peligrosos Domésticos

Una vez separados los RSD fueron seleccionados aquellos envases o empaques que presentaron alguna característica CRETIB. Estos se clasificaron como Envases y Empaques de Productos que dan origen a Residuos Peligrosos (EPRP) y poder ubicarlos de acuerdo con el producto contenido y el uso que se le dé a éste. La clasificación utilizada fue propuesta por Wilson (1985) y adaptada por el centro de Ecodesarrollo (CECODES, 1987). Los rubros fueron los siguientes: 1) limpiadores domésticos, 2) productos automotrices, 3) pilas, 4) fármacos, 5) biológico - infeccioso, 6) insecticidas, 7) cosméticos, 8) pinturas y 9) varios, donde en éste ultimo rubro fueron ubicados todos los envases o empaques que no pudieron ser incluidos dentro de los otros ocho, o en su caso que fueron nuevos EPRP.

Esta clasificación se basa en la separación de los envases de acuerdo con el uso que se da al producto que contiene. El formato de clasificación de Wilson (1985), incluye el número de envases por cada producto, así como el contenido en gramos y mililitros para sólidos y líquidos respectivamente.

El formato de clasificación de los EPRP incluye el número de envases por cada material o RSP encontrado; se anotó el peso total por cada rubro y como parte final se anotó si contenía o no remanente. De acuerdo con Restrepo (1991), se considera remanente cuando presenta el 1% o más de producto por cada envase.

Para el caso de Morelia, se registró únicamente el peso de los envases, ya que no fue posible separar y pesar el remanente del EPRP, debido al riesgo que significó caracterizar a este tipo de residuos.

Análisis estadístico de los datos

Se realizó el Análisis de Varianza (ANOVA) para conocer si existe diferencia significativa en la generación de EPRP con base al estrato socioeconómico. Los datos no mostraron una distribución normal, por lo tanto, se realizó el análisis no paramétrico de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, utilizando el programa estadístico JMP (Statistical Analysis System, SAS).

Para determinar la cantidad de EPRP producidos por cada estrato socioeconómico, se sumaron los envases y empaques de productos, previamente clasificados por uso y contenido del producto. Los datos se procesaron con las ecuaciones 1 y 2:

Para calcular el porcentaje de cada EPRP con respecto al total de EPRP encontrados en cada estrato.

$$\text{PEPRP} = \frac{(\text{EPRP}/\text{TEPRP})100}{\text{Ecuación 1}}$$

Donde:

PEPRP= Porcentaje de cada categoría de EPRP

EPRP= Cantidad de EPRP (gramos)

TEPRP=Total de EPRP encontrados por estrato

Para calcular el porcentaje de EPRP con respecto al total de RSD por vivienda/estrato (Ver ecuación 2)

$$\text{EPRPv} = \frac{(\text{EPRPt})100}{\text{RSDt}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

EPRPv= Porcentaje de EPRP por estrato

EPRPt=Cantidad total de de EPRP por estrato

RSDt= Cantidad total de RSD por estrato

III. RESULTADOS

Se seleccionaron 120 casas para cada estrato socioeconómico, dando un total de 360 viviendas que participaron en el proyecto. Del total de las viviendas seleccionadas, se rescataron un total de 303 muestras (98 del estrato bajo, 106 del estrato medio, 99 del alto), lo que significó que el porcentaje de recuperación de muestras fue del 84%.

Resultado de la Prueba de Wilcoxon/Kruskal-Wallis para la generación total de EPRP por estrato socioeconómico en Morelia

Los resultados de la prueba ($P= 0.697$), permitieron determinar que no existe diferencia estadísticamente significativa en la generación de EPRP por estrato socioeconómico ($P< 0.05$).

En la figura 1 se muestra el comportamiento de la producción de EPRP por estrato socioeconómico.

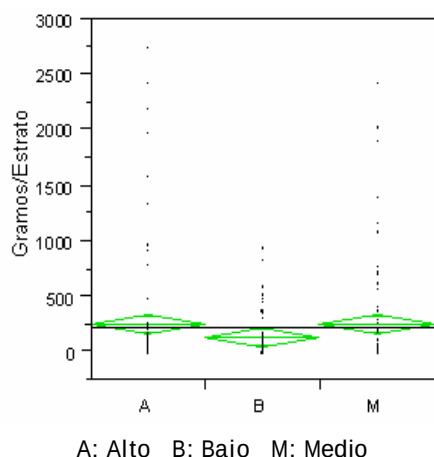


Figura 1. Generación promedio de RSPD por estrato socioeconómico en la ciudad de Morelia

IV. DISCUSIÓN

El análisis de generación de EPRP en los tres estratos socioeconómicos, dio como resultado que de un total de 3,947.170 kilogramos de RSD producidos por 303 viviendas analizadas, se estimó un total de 63.490 Kilogramos de EPRP¹ (Tabla 1).

Tabla 1. Cantidad de EPRP por estrato socioeconómico (Kg, peso fresco)

EPRP	Estrato Bajo	Estrato Medio	Estrato Alto	Peso Total
Limpiadores domésticos	2.29	4.48	19.92	26.71
Productos Automotrices	1.00	0.95	0.23	3.16
Pilas	0.54	0.3	0.48	1.33
Fármacos	1.59	4.09	2.91	8.59
Biológico - infeccioso	0.11	2.54	0.06	2.72
Insecticidas	0.62	0.15	0.11	0.91
Cosméticos	3.12	5.77	6.87	15.62
Pinturas	0.46	0.23	2.46	0.91
Varios	0.5	1.21	0.39	4.39
Total de EPRP	10.27	19.75	33.45	63.35*

¹ EPRP, son los envases y empaques que dan origen a RSPD

La cantidad anterior, permite estimar una proporción del 1.6% del total de los RSD para Morelia. De acuerdo con la cantidad de RSD estimada (442 toneladas/día). Se

calcula una generación de 7.1 toneladas /día de EPRP en las viviendas de la ciudad de Morelia.

La caracterización de los EPRP dio como resultado 85 componentes diferentes, dentro de los 9 rubros de la clasificación (Tabla 1). De estos componentes, 73 correspondieron a envases y empaques y 12 a bienes cuyo valor de uso terminó y son considerados como RSPD las pilas, baterías, discos compactos, cassetes, encendedores, negativos, fotografías, acuarelas, plastilinas, gasas, jeringas y preservativos.

En la tabla 2, se muestran los tres rubros de EPRP que se generan con más frecuencia en las viviendas de Morelia y son: limpiadores domésticos con 35%, seguido por los cosméticos con el 26% y por último fármacos con 15%, sumando alrededor de un 77% en conjunto. Le siguen los rubros de varios y productos automotrices con un 6.4% y 6.1% respectivamente. Los cinco rubros anteriormente mencionados suman el 89% del total de los EPRP encontrados en las viviendas de la ciudad Morelia.

Tabla 2. Porcentaje de RSP por estrato socioeconómico (% peso fresco)

EPRP	Estrato Bajo	Estrato Medio	Estrato Alto	Promedio
Limpiadores domésticos	22.1	22.9	59.6	34.9
Productos automotrices	9.70	4.90	3.60	6.10
Pilas	5.30	1.60	1.50	2.80
Fármacos	15.40	20.90	8.70	15.00
Biológico - infeccioso	1.10	13.00	0.20	4.80
Insecticidas	6.00	0.80	0.30	2.40
Cosméticos	30.90	28.40	20.60	26.60
Pinturas	4.50	0.90	0.80	2.10
Varios	4.90	6.60	7.70	6.40
Total ¹	100	100	100	100

¹ El 100% corresponde a la generación total estimada de EPRP que fue del 1.6%.

Es de notar una relación positiva de la generación de limpiadores domésticos de acuerdo con el estrato socioeconómico (Tabla 2).

Durante el análisis de los EPRP, se observó una diferencia de presentación de envases de acuerdo con el ingreso económico. Esto debido a que en el estrato alto predominaron los EPRP con mayor volumen que los encontrados en el estrato bajo. Por ejemplo, las presentaciones de los empaques de jabón y detergente en el estrato bajo fue común encontrarlos de un cuarto de kilo y de medio kilo. A diferencia del estrato medio, se encontraron presentaciones en polvo y líquidos, pero de mayor peso. En el estrato alto, la mayor parte de los envases eran de jabón líquido de 5 litros, con lo cual se puede inferir que la frecuencia con que son desechados estos EPRP en el estrato alto es menor con respecto al estrato bajo y medio, respectivamente. Esta observación coincide con lo observado en Mexicali, Baja California por Lozano (2004).

Las categorías de productos automotrices, pilas, insecticidas, cosméticos y pinturas, mostraron una relación inversa con el ingreso económico (Tabla 2). Los rubros de fármacos y biológico-infecciosos se observaron más en el estrato medio. Sin embargo, en el estrato alto, los medicamentos se presentaron sólo en un tercio de lo observado en el estrato medio y la mitad de lo observado en el estrato bajo. Para el caso de los fármacos, se observó que en el estrato alto, la mayoría de los empaques fueron presentaciones de muestras gratis; en un día de muestreo se encontraron en este estrato alto 486 grs. de pastillas.

En el estrato bajo, la mayoría de los empaques (encontrándose en su mayor

caso, empaques con pastillas) fueron de medicamentos Genéricos intercambiables (GI) o del Sector Salud (SS). Lo cual sugiere que las actitudes de las personas con respecto al uso y valor que les confiere a un bien ó servicio está influenciado por cuestiones económicas, como lo es que el consumidor pague una cantidad por el bien ó servicio. Esto coincide con lo reportado por Buenrostro *et al.*, (2001), en cuyo estudio encontró una mayor cantidad de desechos de tortillas en el estrato bajo, en ese momento el precio de la tortilla era subsidiado, cuando éste subsidio desapareció, la cantidad de tortilla desechada disminuyó.

Para el caso de productos automotrices, se observó que éstos predominan más en el estrato bajo. Se observó que debido a que los habitantes de este estrato tienen menor poder adquisitivo, son ellos mismos los que dan mantenimiento a sus automóviles. Situación que no predomina en el estrato alto, en donde a pesar de contar con más vehículos y de mayor precio, prefieren enviar sus vehículos a talleres especializados. Lo anterior, hace apremiante establecer programas de manejo de este tipo de residuos, enfocados a los estratos bajos para evitar la mezcla de estos residuos con el resto de residuos domésticos.

Situación similar se observó en el caso de las pilas; se pudo determinar que la mayor predominancia de éstas en el estrato bajo obedece a que son marcas de más bajo costo y por lo tanto, la vida útil de estas pilas es menor con respecto a pilas de marcas de patente más caras, pero que aseguran un periodo de vida útil mayor. Por lo que también resulta conveniente que en los programas de manejo de este tipo de residuos, se asegure una mayor coordinación con las autoridades aduanales

para evitar la proliferación de estas marcas de pilas de contrabando que no cumplen con las normas de calidad mínimas que aseguren un mayor periodo de vida útil y que ya no contengan metales pesados como plomo y cadmio. No obstante, no fue posible determinar en este estudio, si la mayor proliferación de pilas en el estrato bajo obedece también, a una mayor presencia de aparatos electrodomésticos que consumen pilas.

Del total de EPRP encontrados el 59% presentó remanente (Tabla 3); sin embargo, en este estudio, no fue posible separarlo y pesarlo, debido al riesgo que significó caracterizar a este tipo de residuos.

Tabla 3. Porcentaje de EPRP con y sin remanente

EPRP	Estrato Bajo		Estrato Medio		Estrato Alto		Promedio	
			Contenía		Remanente			
	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Limpiadores domésticos	24	23	19	18	27	22	23	21
Productos Automotrices	5	0	1.8	0	0.9	0	2.6	0
Pilas	12	0	4.8	0	7.6	0	8.2	0
Fármacos	19	53	29	64	24	62	24	60
Biológico - infeccioso	0	11	4.5	6.8	1.3	1.6	1.9	6.5
Insecticidas	2.8	0	0	0	0.3	0	1	0
Cosméticos	25	13	30	9.9	33	11	30	11
Pinturas	1.7	0	1.2	0	3.2	1.1	2	0.4
Varios	9.9	0	9.4	1.4	3.5	0	7.6	0.5
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

El 39% de los envases no presentó remanente; esto se observó más en el estrato bajo, debido a que la mayoría de los envases estaban limpios (enjuagado), lo cual indica otra vez la influencia de factores económicos en las actitudes para con el uso de los recursos. Esto mismo,

también se observó en el estudio de Mexicali (Lozano, 2004), confirmando que el ingreso es una variable determinante en la forma de uso de los bienes. Las observaciones sugieren que los estratos de menor ingreso tienden a optimizar más el uso de este tipo de bienes.

Con los resultados estadísticos obtenidos de la prueba Wilcoxon-Kruskal-Wallis, se determinó que no hay diferencia significativa en la producción de EPRP en la ciudad de Morelia, (Cuadro 5). Se observó en el rubro de productos domésticos (Detergente liquido para ropa y limpiador liquido) contribuye más el estrato alto, el estrato medio contribuye más con el rubro de Fármacos (empaques de pastillas patente y jarabe y/o suspensión patente) y biológico-infeccioso (equipos de diálisis); por último el estrato bajo se generan más los cosméticos (perfume y/o desodorante, shampoo) e insecticidas en aerosol. Esto significa que el ingreso económico y la escolaridad no tienen una influencia estadísticamente significativa en la generación de EPRP.

No obstante, en cada uno de los rubros hubo una marcada tendencia de marcas al consumir los productos, ya que en el estrato bajo era de menor precio y en el estrato alto era de mayor precio. Esto sugiere que la gente busca la forma de satisfacer sus necesidades sin importar su ingreso, pero si el precio de los productos. Esta observación es crítica para incluir en los programas de manejo que tiendan a reducir la generación de residuos sólidos peligrosos en las viviendas, ya que no hay diferencia en la generación de EPRP y las variables escolaridad e ingreso económico, no determinan que las personas tengan un mayor grado de percepción ambiental.

La producción de EPRP en las viviendas de Morelia, es motivo de preocupación. Las proyecciones de la generación de EPRP en las viviendas de Morelia, sitúan una producción total por día, de alrededor de 7 toneladas (cuadro 4).

Cuadro 4. Generación de Residuos Sólidos Peligrosos en la ciudad de Morelia
(Kilos/Día)

EPRP	Estrato Bajo	Estrato Medio	Estrato Alto	Peso Total
Limpiadores domésticos	256	500	2224	2980
Productos automotrices	112	106	26	244
Pilas	60	33	54	147
Fármacos	177	457	325	959
Biológico - infeccioso	12	284	7	303
Insecticidas	69	17	12	98
Cosméticos	348	644	767	1759
Pinturas	51	26	275	352
Varios	56	135	44	235
Generación total	1141	2202	3734	7077

Estos datos son importantes, dado que la disponibilidad de datos en México, sobre la generación de residuos sólidos peligrosos domésticos (RSPD), es mínima. Aunque la cantidad estimada para las viviendas de Morelia pueda parecer mínima, la cantidad encontrada en esta investigación y la composición tan heterogénea debe ocupar a los sistemas de aseo público municipales para tratarlos por separado y disminuir la exposición de la población e impacto ambiental.

En la actualidad, resulta apremiante contar con datos confiables sobre la composición de los RSPD. Investigaciones similares han demostrado que contaminantes orgánicos que van en los residuos peligrosos como pinturas, plásticos, pesticidas, solventes,

entre otros, al transformarse por procesos bióticos y abióticos, originan diversos compuestos orgánicos e inorgánicos, que al ser emitidos a la atmósfera o subsuelo afectan el ambiente y la salud de la población (Öman y Hynning, 1993).

Este estudio demuestra que en Morelia los RSPD continúan mezclándose como residuo sólido no peligroso dentro de la corriente de los residuos sólidos municipales (RSM). Preocupantemente, la mayor parte de los sistemas de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) en México y en los países en vías de desarrollo funcional similarmente al de Morelia. No obstante, la generación y composición de los RSD puede variar, ya que variables culturales y situacionales influyen marcadamente la producción de estos residuos (Corraliza y Berenguer, 2000).

La legislación ambiental mexicana no considera estos productos como un factor de riesgo ambiental, básicamente por la concentración de sustancias que presentan estos productos a los consumidores, lo cual da origen a que se subestimen los factores de exposición y se consideren con un nivel de peligrosidad bajo o nulo por la cantidad que presentan los diferentes productos. Por esto, la caracterización y cuantificación de los envases y empaques de los productos que dan origen a residuos peligrosos (EPRP), puede ser una alternativa como método indirecto para evaluar la problemática ambiental que este tipo de residuos presentan a los sistemas de gestión y aseo de los municipios (Buenrostro *et al.*, 2007).

Este estudio confirma lo reportado por Buenrostro *et al.*, (2003) en el que la generación de EPRP en las viviendas depende del nivel de consumo y las necesidades de cada vivienda, así como de los hábitos y de los patrones de consumo

determinados además del ingreso, en gran parte por los medios de comunicación y los procesos de urbanización.

Con respecto a otras variables que inciden en el consumo de productos y bienes que dan origen a RSPD se ha determinado también la influencia de variables ambientales como la estación del año (Buenrostro *et al*, 2001^a) y el clima, que determina la adquisición de ciertos productos como los insecticidas (Buenrostro *et al.*, 2007). A este respecto, Slack y colaboradores (2005), en el Reino Unido determinaron, que los productos que conforman los RSPD, están relacionados con el nivel educacional y el tipo de comunidad (si es rural o urbana), lo cual indica que en países desarrollados, la escolaridad está correlacionada con la generación de RSPD.

Finalmente se puede afirmar que la cantidad de EPRP encontrados en las muestras de RSD, puede en una primera apreciación no ser un problema serio al medio ambiente y a la salud humana. No obstante, estos datos permiten estimar la cantidad de EPRP que se producen por día; la mayor parte de estos residuos continúan depositándose en el tiradero del municipio y la cantidad de EPRP que se encuentran confinados en el tiradero de Morelia sugiere un serio problema ambiental.

V. CONCLUSIONES

Los EPRP representan el 1.6% del total de los RSD.

Se estima una generación de 7.1 toneladas /día de EPRP en las viviendas de la ciudad de Morelia.

No hay diferencia significativa en la producción de EPRP con base al estrato socioeconómico y escolaridad.

El estrato alto es el mayor generador de envases de productos para la limpieza doméstica (Detergente líquido para ropa y limpiador líquido)

El estrato medio es el mayor generador de envases y empaques de farmacos de patente y de biológico-infeccioso (equipos de diálisis)

El estrato bajo es el mayor generador de cosméticos (perfume y/o desodorante, shampoo) insecticidas (insecticidas en aerosol).

Los RSPD están elaborados con sustancias químicas, cuya composición y cantidad se desconoce o no se especifican con exactitud en el envase o empaque.

En Morelia se carece de programas para el manejo y disposición de EPRP.

VI. AGRADECIMIENTO

Se agradece el financiamiento del proyecto a la Coordinación de la Investigación Científica UMSNH, a través de la convocatoria 2004 con el proyecto 5.9. Asimismo, se reconoce la participación de Yazmín Claudio, Carlos González , J. Luís Díaz y Olga Nambo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Buenrostro, D. O. 2001. Los Residuos Sólidos Municipales. Perspectivas desde la Investigación Multidisciplinaria. Ed. Universitaria, UMSNH. México. 199 pag.
- Buenrostro, O., G. Bocco and Cram. 2001. Classification of sources of municipal solid waste in developing countries. Resources, Conservation and recycling. 32, 29- 41.
- Buenrostro, O., G. Bocco and G. Bernache. 2001^a. Urban solid waste generation and disposal in Mexico. A case study. Waste Management & Research. 19,169-176.
- Buenrostro, O., I. Israde. 2003. La gestión de los residuos sólidos en la cuenca del lago de Cuitzeo, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 19 (4), 161-169.
- Buenrostro, O., S. Ojeda, & L. Marquez. 2007. Comparative Analysis of Hazardous Household Waste in Two Mexican Regions. Waste management. 27, 792-801.
- Castillo B. H. F. 1983. La sociedad de la Basura. Caciquismo urbano en la Ciudad de México. Instituto de Investigaciones Sociales UNAM. 73-80 pp.
- Corraliza, J., J. Berenguer. 2000. Environmental values, beliefs and actions. Environment and behavior. 32 (6), 832-848.
- Israde, I. y V. H. Garduño. 1999. Lacustre record in a volcanic are setting: The evolution of the late Neogene Cuitzeo Basin System, Central Western Mexico, Special publication, Recent and ancient lacustre systems in convergent margins, Glopals, paleogeography, paleoclimatology, palaeoecology, Vol 151, 98-105.
- Lozano, O. G. 2004. Generación de desechos domésticos contaminantes en la familia y su diferenciación por estrato socioeconómico. Tesis de Maestría. Instituto de Ingeniería, UABC. 53-83 pp.
- Restrepo, I., G. Bernache y W. Rathje. 1991. Los Demonios del Consumo (Desecho y Contaminación). Centro de Ecodesarrollo. México, D. F. 270 pp.
- Öman, C., P. Hynning. 1993. Identification of Organic Compounds in Municipal Landfill Leachates. Environ. Pollut. 80, 265-271.
- SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial).1985. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo.104 pp.
- SEDESOL (Secretaria de Desarrollo Social). 1996. Norma Mexicana NMX-AA-61-1985. Diario Oficial de la Federación. México.
- Slack, R., J. Gronow, J. R. Voulvounis, N. 2005. Quantities of household hazardous waste disposed to UK landfills. Tenth International waste Management and landfill symposium. Sardinia 2005.

Identificación de patrones de comportamiento ambiental por tipología familiar en la generación de RSD: Estudio de Caso.

Márquez Montenegro María Ysabel¹, Ojeda Benítez Sara² e Hidalgo Silva Hugo³

¹ Tesista de Doctorado en Ciencias e Ingeniería Instituto de Ingeniería UABC Unidad Universitaria Edificio del Instituto de Ingeniería UABC Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal s/n Colonia Insurgentes Este C.P. 21280 Mexicali, Baja California, México.

² Investigadora del Instituto de Ingeniería UABC

³ Investigador CICESE. Ciencias de la Computación Km. 107 Carr. Tijuana-Eda. Ensenada, Baja California, México. ysabel@uabc.mx sara@iing.mx uabc.mx Tel/Fax (686-566 41 50) & hugo@cicese.mx

Resumen

Los residuos sólidos crean diversos problemas debido a factores contaminantes que influyen en la calidad del aire, suelo y agua, y que repercuten de manera general en la salud de los seres vivos; incluyendo a los humanos, los cuales por consecuencia de esa contaminación tiene que modificar sus hábitos de consumo. El presente trabajo hace uso de técnicas de reconocimiento de patrones para investigar la existencia de similitudes de comportamiento en bases de datos, pretendiendo lograr identificar y caracterizar patrones de comportamiento ambiental en familias con estructura nuclear, extendida y monoparental referentes a su generación de residuos sólidos domiciliarios. Cada patrón hallado puede revelar hipótesis acerca de las causas particulares de generación así como sugerir recomendaciones de cuáles estrategias pudieran ser útiles para una educación ambiental con relación al tema de estudio. Coincidencias en situaciones similares pudieran permitir deducir estrategias de alcance generalizado sin perder de vista las especificidades grupales. Los resultados corresponden a 67 hogares de diferentes colonias de la ciudad de Mexicali, B.C., sobre una muestra de generación de residuos durante nueve días consecutivos y, un cuestionario sobre conducta ambiental, a los cuales se les aplicaron técnicas de clustering y de clasificación para la determinación de patrones.

Palabras Clave - Residuos Sólidos Domiciliarios, Comportamiento Ambiental, Reconocimiento de patrones, Tipología Familiar

I. INTRODUCCIÓN

Una de las líneas de investigación con mayor interés en la actualidad va orientada a los problemas ambientales provocados principalmente por las actividades diarias del hombre, sobre todo aquellas en donde se ven involucrados productos fabricados por el mismo. Los productos actuales están diseñados, desde su fabricación, para que su consumo sea inmediato y consecuentemente terminan convirtiéndose de igual manera rápidamente en desechos.

Como el fin último de todo bien de consumo adquirido, es el ser desechado cuando éste ya no represente utilidad alguna para su poseedor, lo que aunado con el incremento de la población se convierte en un problema al momento de su disposición final, puesto que la naturaleza ya no es capaz por sí sola de efectuar la degradación de tal cantidad de residuos.

La generación de residuos desde el origen es motivo de estudios recientes en diversas áreas del conocimiento, en busca de minimizar el impacto medio ambiental que producen (durante todo el proceso de la gestión de residuos).

El aumento en el consumo y a su respectivo incremento en la generación de residuos muchas veces resulta de la creencia de tener al medio ambiente para la disposición y uso del humano, lo que ha provocado un agotamiento de los recursos naturales, que

siguen siendo explotados de forma masiva y acelerada. Debido a que es el humano el actor principal de los problemas ambientales (Corral, 2000), la psicología busca determinar los factores actitudinales del comportamiento relacionado con cuestiones específicas del medio ambiente, para que de alguna manera se encuentren directrices que permitan resolver los problemas ambientales. Lo anterior implica cambiar el comportamiento del ciudadano, que de alguna manera se influya socialmente en torno a proyectos pro-ambientales.

Relacionado a lo anterior, Suárez (2002) menciona que el conocimiento de las consecuencias sociales y personales de las conductas representa mayor importancia, que el hecho de tener el conocimiento de los problemas ambientales. Es por ello la necesidad de considerar involucrar en la búsqueda de la resolución de los problemas ambientales aspectos tanto técnicos y tecnológicos como conductuales (Díaz, 2000). Aquí es donde la psicología ambiental se aplica, puesto que busca estudiar las relaciones entre las personas y su entorno para posibilitar la preservación del medio ambiente (Corral, 2001).

Investigadores e instancias de gobierno han buscado diversas alternativas para proteger el medio ambiente, y por lo generar hacen uso de diversas herramientas estadísticas para analizar los datos, infiriendo patrones con el uso de la modelización paramétrica y no paramétrica, los cuales la mayoría de las veces su interpretación resulta compleja para aquellos que no tienen esa orientación disciplinaria. Es así como, el Ayuntamiento de Mijas (2005) y la Comisión Nacional del Medio Ambiente del Gobierno de Chile (2002), determinan que a través de la re-

ducción en la generación de residuos desde el origen, es la principal prioridad cuando se busca proteger el medio ambiente, procurando principalmente minimizar la cantidad de materiales que se usa y la energía que se requiere en el proceso hasta que el producto es consumido.

Con el poder adquisitivo y la facilidad de adquirir diferentes bienes, se tiene como costumbre el gastar innecesariamente y desechar con facilidad lo que ya no representa utilidad, pero esto lleva consigo el deterioro ecológico. Un gran porcentaje de la basura que generamos actualmente se debe a los desechos de los productos que adquiere el consumidor, es por eso que si ejerce su poder de compra, el consumidor puede influir en el mejoramiento de las condiciones ambientales; pero para poder llegar a efectuar esta acción, es necesario que se le haga llegar toda la información que requiera para tener la posibilidad de influir y de tomar la decisión más acertada en pro del medio ambiente y de esa manera disminuir el aumento de la generación de desechos en el hogar (Zaragoza, 2002).

Barreiro et Al (2002) consideran que además del conocimiento sobre problemas ambientales y los efectos del actuar del humano en la naturaleza; se deben de considerar el sistema de creencias y de valores así como las actitudes, ya que de estos depende la sensibilidad que los individuos manifiestan hacia el medio ambiente y la naturaleza; puesto que la mayoría de la gente no cambia sus estilos de vida si consideran que se requiere de sacrificios y privaciones al hecho de realizar acciones en pro del medio ambiente.

Para la determinación de patrones de conducta hacia el medio ambiente, es necesario la recolección de la información que permita determinar los comportamientos tanto de consumo como ambiental, para ello, la importancia de la caracterización y cuantificación de los residuos sólidos domiciliarios (RDS) que generan desde su origen (Tonglet, Phillips y Bates, 2004), así como la obtención de la información de cómo se comportan ambientalmente las personas por medio de instrumentos validados para dicho propósito.

Muchos de los estudios actuales reportan resultados analizando únicamente la dimensión de los factores observados (registro de datos de campo) o la dimensión de los factores reportados (entrevistas, cuestionarios, etc.), debido al déficit de recursos humanos, materiales, financieros y de temporización, sin olvidar a la complejidad resultante si se consideran ambas dimensiones, por estar involucrando datos cuantitativos, con datos cualitativos. Para solventar esta situación, el campo del descubrimiento de conocimiento está emergiendo como una área nueva y fundamental, en especial el reconocimiento de patrones, que busca formular, analizar e implementar el proceso e inducción básica para que facilite la extracción de información significativa y el conocimiento desde los datos no estructurados, y como básicamente la meta a través de ésta herramienta es extraer modelos cualitativos que puedan ser trasladados a reglas lógicas (Grossman et Al, 1999).

Muchas veces el sistema de clasificación de patrones debe diseñarse partiendo de un conjunto de patrones de entrenamiento $\{x_j; j = 1, 2, \dots, N\}$ para los cuales no se conoce sus etiquetas de clase γ_i .

Dado un conjunto de entrenamiento suficientemente grande se puede inferir la densidad de probabilidad conjunta $p(x)$ y si la densidad conjunta es multimodal cada uno de los modos deberá corresponderse con la distribución condicional de cada una de las clases presentes.

Por lo tanto identificando estos modos en $p(x)$ será en principio posible particionar el espacio de observación en regiones disjuntas Γ_i , $i = 1, 2, \dots, m$, asociadas con cada una de las clases presentes. Por lo que usando el criterio de:

$$\text{Asignar } x \text{ a } \omega_i \iff x \in \Gamma_i$$

Se podrían clasificar los datos directamente, pero muchas veces resulta inviable; una opción alternativa se refiere a clasificar patrones en el conjunto de entrenamiento y luego usar estas etiquetas para diseñar el sistema de reconocimiento de patrones usando un aprendizaje supervisado, pero esto implica estimar la función de densidad conjunta y luego analizarla en el espacio de dimensión n , lo cual es muy complejo (Kittler, 2002).

Otra forma es partiendo de un conjunto de entrenamiento en clases con la misma etiqueta hacer particiones (métodos de agrupamiento o clustering).

El propósito de los métodos de agrupamiento es analizar y extraer la estructura presente en un conjunto de patrones o muestras de entrenamiento. Por lo que un conjunto de datos está bien estructurado si contiene regiones de alta densidad, separados por otras regiones relativamente vacías o con poca densidad. Los puntos de un mismo agrupamiento aparecerán más próximos

entre ellos que a puntos en otros agrupamientos.

Clustering suele ser la primera fase en los procesos de reconocimiento de patrones, siendo el objetivo en este caso la creación de clusters que revelen la distribución natural y la estructura de los datos de generación de residuos y comportamiento ambiental, no habiendo información de partida que incluya ambos tipos de datos.

Siendo entonces la razón principal de estudio en la presente investigación, la determinación de los rasgos característicos en la generación de residuos domiciliarios por tipología familiar, sobre todo partiendo de la perspectiva de la generación desde el origen y del reporte afectivo, cognitivo y conductual hacia el medio ambiente, recurriendo al empleo de herramientas de reconocimiento de patrones, con el fin de profundizar en el tema de la generación de residuos sólidos, de tal forma, permita describir las relaciones causales entre los elementos involucrados y representan la complejidad de la dinámica de los RSD.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la identificación de viviendas en el análisis, se retomó la muestra de la investigación realizada por Márquez (2004), en donde las viviendas se clasificaron por tipología familiar y estrato socioeconómico, con criterios de inclusión de cuando menos cinco bolsas de basura, como cantidad por vivienda recolectada durante el periodo de muestreo de nueve días consecutivos.

También se utilizó la información resultante de un cuestionario aplicado a los integrantes de las familias que previamente habían participado en el muestreo de generación de residuos.

Además de considerar a las viviendas que habían entregado cinco o más bolsas de residuos, se incluyó el criterio de selección a los integrantes de las familias que habitaban las viviendas, considerando sólo aquellas personas que tuvieran 13 años o más al momento de aplicar la encuesta, clasificándolos en tres grupos diferenciados por el rol que ejercen dentro de la familia y por su edad, quedando la clasificación como sigue: de 13 a 23 años de edad (denominado instrumento “jóvenes”), mayores de 23 años de edad (sin incluir a las persona responsable del hogar, denominado instrumento “adultos”) y amas de casa (denominado instrumento “ama de casa”).

En la estructura de la información para el análisis con las técnicas de reconocimiento de patrones, en cada uno de los registros que contiene la base de datos, se formaron por campos o atributos que incluyen al *identificador de la vivienda (ID)*, *tipología familiar (Tipo I)* identificada como nuclear, extendida y monoparental; *estrato socioeconómico (Est)* ubicados como bajo, medio y alto; en cuanto a los integrantes encuestados de las familias se considera: *edad (edad)*, *nivel de escolaridad (Esc)* y *sexo*; *generación y composición per-cápita de basura y comportamiento ambiental* reportado mediante un cuestionario con estructura de tipo Likert.

Los atributos correspondientes a generación de residuos, se conformaron en base a su composición determinándose diez clasificaciones que permiten diferenciar su tipo; la clasificación quedo como “*compost*” (Co), “*sanitarios*” (S), “*pétreos*” (P), “*metales*” (M), “*papel*” (Pa), “*cartón*” (Ca), “*plásticos*” (Pl), “*vidrio*” (V), “*misceláneos*” (Msl) y “*envase compuesto*” (EC); cada uno de

ellos agrupó atributos semejantes generados en un mismo periodo por cada una de las viviendas, a través de la suma de los pesos correspondientes. Los pesos en cada uno de los atributos se expresan en términos de generación per-cápita, debido a la sentido del análisis que se efectuado, el cual se encuentra orientado a individualizar cada uno de estos datos para poder relacionarlo con la información recabada de manera personal en el cuestionario.

Desarrollo de la escala de Likert

La estructura del cuestionario de donde se obtuvieron los datos sobre comportamiento ambiental conformado por reactivos según una escala de Likert de cinco puntos, constituye el punto de vista de los individuos hacia la pregunta planteada que se les presentaba sobre medio ambiente, personalidad y hábitos de consumo. Las perspectivas que se les presentaron se distribuyeron en categorías que representan diferentes posturas, como por ejemplo una posición desfavorable se indicó a través de un puntaje menor, en contraposición de una posición favorable denotada por un puntaje mayor.

Aplicación de las técnicas de reconocimiento de patrones

El software utilizado en el análisis de la información contenida en la base de datos corresponde al paquete estadístico STATISTICA de Statsoft para las tareas de estadística descriptiva y multivariada, y la herramienta WEKA 3.4 (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) de la Universidad de Waikato para la aplicación de las técnicas supervisadas y no supervisadas de reconocimiento de patrones.

Los datos se trataron con diferentes algoritmos de reconocimiento de patrones,

buscando las agrupaciones que revelaran la estructura natural de distribución de los datos sobre comportamiento ambiental y generación de residuos; en todos los casos se realizaron validaciones cruzadas con el propósito de crear conjuntos de prueba y de entrenamiento, para que de forma iterativa se dividieran los datos en conjuntos mutuamente excluyentes. Se partió de la suposición de que no hay información previa disponible que guíe o sesgue el resultado durante la ejecución de esta tarea. Se aplicaron los siguientes algoritmos de clustering: K-Medias (Duda & Hart, 2001), EM (Lauritzen, 1995 en Molina y García, 2004), SOM (Kohonen et Al., 1995) y CobWeb (Fisher, 1996) en la base de datos de la investigación en búsqueda del mejor algoritmo que agrupara a los datos.

Comparando los resultados de todos los algoritmos de clustering aplicados a los datos, y considerando los criterios inherentes al algoritmo se determinó cual de ellos realizaba la tarea de agrupamiento de la mejor manera. Una vez seleccionado el mejor de ellos, se retomó la base de datos original incluyéndole como atributo nuevo, la clase de pertenencia de cada uno de los casos analizados; para posteriormente aplicarle el algoritmo de clasificación que permitiera describir las relaciones entre todos los atributos, en donde la clase estaba determinada por el atributo *cluster*.

A través de los algoritmos de clasificación en WEKA, se probaron varios para seleccionar aquel que con un menor error construyese un clasificador para la predicción de la categoría cluster. Se utilizó al árbol de decisión generado por la técnica C4.5 (Quinlan, 1986) para crear un modelo de clasificación a partir de un conjunto de entrena-

miento y del modelo. Los registros del conjunto de entrenamiento pertenecían a un pequeño grupo de clases predefinidas, y cada clase correspondía a un valor de la etiqueta. El clasificador generó una serie de patrones que son útiles para distinguir las clases. El modelo inducido (clasificador) consistió de una serie de patrones que fueron útiles para distinguir las clases. Una vez inducido el modelo, usado para predecir automáticamente la clase de otros registros no clasificados (de etiqueta desconocida).

En la construcción del modelo se utilizó la validación-cruzada estratificada (Zamorano, 2006), que es la manera usual de obtener una estimación razonable de la calidad de los modelos cuando se tienen muestras pequeñas, como en este caso, donde no es recomendable reservar de los datos como casos de prueba ya que esto supondría utilizar todavía menos para la obtención de los modelos. Además, el resultado sería demasiado dependiente del modo en el cual se hubiese realizado la partición del conjunto completo en dos subconjuntos disjuntos de entrenamiento y prueba.

Con el modelo del clasificador determinado, se procedió a analizar el árbol de decisión generado por el algoritmo C4.5 para transformarlo directamente en una regla de producción, dicha regla se expresa como una conjunción de todas las condiciones que deben ser satisfechas para llegar a la hoja. Consecuentemente, todos los antecedentes de las reglas generadas de esta manera son mutuamente excluyentes y exhaustivos. Todas las reglas de decisión o de producción tienen la estructura de la siguiente forma:

Si $\text{atributo}_1=\text{valor}_x$ **y** $\text{atributo}_2=\text{valor}_y$ **y** $\text{atributo}_n=\text{valor}_z$ **Entonces** clase_K

Al interpretar las reglas, se tomó en cuenta que una regla cubre un caso sólo si el caso satisface todas las condiciones en el antecedente de la misma, además de que las reglas de decisión se presentan en orden, y se deben de interpretar de esa manera debido a que el orden determina cuáles reglas deben ejecutarse primero.

III. RESULTADOS

En el proceso de identificación de las concurrencias entre las viviendas con datos de generación de residuos, y las viviendas en donde los integrantes contestaron el instrumento, se consideraron las viviendas coincidentes en ambas bases de datos. El desglose por tipología familiar, además los datos totales de la muestra son 67 viviendas (confiabilidad del 95% y error estándar menor de 0.0263¹) y 180 personas encuestadas.

Del total de la muestra, el 50% corresponden a familias con tipología Nuclear, el 35.6% extendida y 14.4% monoparental (con un nivel de confianza de 95% y con desviación estándar del 20%)¹. De la muestra considerada, el 53.9% son mujeres, el 44.4% son hombres y hubo un 1.7% que no indicó su género. Más del 50% de los encuestados tienen como mínimo un nivel educativo de secundaria puesto que el 24.4% indica que son profesionistas, siendo este el porcentaje más alto, seguido por el de secundaria inconclusa con un 18.3% y preparatoria con un 15%. La edad de los encuestados varía desde los 13 años hasta los 80 años, siendo el periodo comprendido entre 20 y 29 años el de mayor incidencia (21.67%), seguido del de 30 a 39 años con un 20.56% y del 40 a 49 con 13.33%.

¹ Considerado con los valores de la muestra utilizada por Márquez (2004) para cada tipología familiar

Al validar del instrumento sobre comportamiento, los criterios considerados fueron el coeficiente alfa estandarizado de 95.73%, valor aproximado al resultante en el análisis de las dos mitades; además, los diez factores obtenidos explican el 62.35%; de la variabilidad de los datos. Por los resultados en los análisis efectuados, se concluye que el instrumento es consistente.

Según el alfa de Cronbach los factores tienen una fiabilidad aceptable al presentar valores superiores a 0.7, con excepción de los factores seis (CCC) y ocho (CDMG) que resultaron con alfas de 0.69 y 0.65 respectivamente (tabla 1). En todos los factores, los valores promedios en las respuestas proporcionadas por la muestra en análisis, se encuentran muy cercanos al valor promedio que tiene cada factor en el instrumento con un sentido hacia una conducta positiva en la mayoría de las situaciones; sólo en el caso del factor uno A (HCPA) resulta contrario.

1.1 Determinación de las clases para el agrupamiento de viviendas

Los algoritmos de reconocimiento de patrones arrojaron como resultado segmentaciones diferentes según el algoritmo que se utilizó, pero de todos ellos destaca EM (*Expectation Maximization*) como el que mejor lo hizo, seguido SOM, k-medias y por último CobWeb. En este caso se presenta los resultados obtenidos con EM.

Tabla No 1 Estadísticas para las escalas

Factor	Descripción	Denotación de la conducta	α	Puntajes de representación	
				Mínimo	Máximo
F1A	Hábitos y consumo pro-ambientales (HCPA)	(+)	0.96	11	55
F1B	Falta de compromiso ante el problema ambiental (FCAPA)	(-)	0.92	9	45

F2A	Conducta de normas en el consumo (CNC)	(+)	0.87	6	30
F2B	Acciones para generar menos residuos (AGMR)	(+)	0.95	10	50
F3	Expresiones del estilo de vida (EEV)	(+)	0.96	13	65
F4	Percepciones negativas hacia el manejo de los residuos (PNHMR)	(-)	0.70	5	25
F5	Creencias de austeridad en la generación (CAG)	(+)	0.87	7	35
F6	Creencias de Conservación en el consumo (CCC)	(+)	0.69	3	15
F7	Nociones negativas ante alternativas de disminución de residuos (NNAADR)	(-)	0.78	3	15
F8	Creencias de dispendio material en la generación (CDMG)	(-)	0.65	3	15

Utilizando los 26 atributos de la base de datos (F1A, F1B, F2A, F2B, F3, F4, F5, F6, F7, F8, Co, S, P, M, Pa, Ca, Pl, Msl, V, EC, Sexo, Est, Esc, Per, Tipol y ID) y 360 instancias, se obtuvieron como resultado 11 clusters, con una máxima verosimilitud de -106.07, considerando como parámetros de ejecución finales de 100 el número máximo de iteraciones; valor de 0.099 como desviación estándar mínima permitida; selección automática de clusters por validación cruzada y 150 como el valor de semilla aleatoria.

Con base a la tabla 2 que muestra los resultados probabilísticos en los clusters, El *cluster* cero agrupa al 18% de todos los casos analizados con una mayoría absoluta de los integrantes pertenecientes a familias de tipo *extendido*; el *cluster* uno agrupa al 17% de los casos analizados y la mayoría de los integrantes corresponden a familias de tipo nuclear, los *cluster* seis y cinco con 14% y 11% del total de los casos tienen en simili-

tud al agrupar número de casos similares pertenecientes a familias de tipo extendido y de tipo nuclear. Los siete restantes clusters obtienen como resultado valores entre dos y siete por ciento de representatividad del total de casos. Los *clusters dos, tres,*

Tabla 2 Estructura general de los clusters

Cluster	Tipología familiar			Total	%
	E	M	N		
CO	48	3	13	64	18
C1	7	2	53	62	17
C2	3	1	19	23	6
C3	4	2	20	26	7
C4	2	4	10	16	4
C5	16	7	18	41	11
C6	19	12	18	49	14
C7	3	2	5	10	3
C8	18	0	7	25	7
C9	6	13	5	24	7
C10	0	2	4	6	2
C11	0	6	8	14	4
Total	126	54	180	360	

E=Extendida, M=Monoparental y N=Nuclear

De acuerdo a la tabla 3 en donde se presentan los valores promedios de los atributos, se encuentran similitudes en algunos de los clusters, por ejemplo el cluster 10 y cluster cuatro, presentan los valores de las medias más altos en las variables correspondientes a composición de residuos (Co, M, Pa, Pl, V, Ca y Msl); en el caso de las variables de comportamiento tienen los valores más bajos (F2A, F2B, F5, F8 y F4). El cluster 8, tiene la menor generación en siete de las diez variables de generación (S, P, M, Pa, Pl, Msl

cuatro, siete, diez y once obtienen una mayoría de casos en tipología familiar nuclear. El *cluster ocho* muestra una mayoría clara de casos con tipología familiar extendida y, sólo en el *cluster nueve* la mayoría lo tienen los casos con tipología monoparental. y V), en tres de las diez variables de comportamiento (F2B, F5 y F6), y en el resto también presenta valores de los más bajos.

Los clusters C9, C11, C6 y C2, en los valores de sus medias en composición son bajos con respecto a los demás en las variables referentes a elementos que pudieran ser reciclados (M, Pa, Ca, Pl, V, y EC) y, en las variables de comportamiento C9 y C11 tienen los valores más altos en casi todas las variables, C6 y C2 también con las excepciones de F8 y F4 principalmente. El cluster cinco agrupa a casi todos los casos en donde se involucró a jóvenes de 13 a 23 años de edad de todas las viviendas.

1.2 Determinación del clasificador

Al obtener la clase que agrupa a instancias con características similares, se consiguieron las correspondientes agrupaciones; como paso siguiente correspondió la determinación del clasificador. Se recurrió al algoritmo C4.5 con un nivel de confianza de 0.05; indicando que el número mínimo de instancias por hoja debía ser de dos; tres como el número de particiones que determina la cantidad de datos usados para reducir el error de poda y el valor de la semilla igual a 100 y el resto de los parámetros con valores constantes.

Tabla 3 Valores promedios de variables sobre comportamiento y generación por cluster generado

Cluster	F2A	F2B	F5	F1A	F1B	F8	F4	F7	F3	F6	Co (gr)	S (gr)	P (gr)	M (gr)	Pa (gr)	Ca (gr)	Pl (gr)	Msl (gr)	V (gr)	EC (gr)
C0	39	23	25	37	19	7	8	8	40	10	1150	231	26	181	76	72	202	110	40	20
C1	37	23	26	34	20	6	9	9	32	9	1410	233	56	61	290	109	201	109	120	13
C2	41	23	26	27	13	6	10	9	41	8	1008	1232	363	40	90	47	197	250	42	43
C3	39	23	27	27	20	8	10	11	37	10	969	264	0	91	305	120	354	103	208	123
C4	35	21	23	28	15	6	8	9	33	10	1474	175	413	117	328	679	276	1146	69	13
C5	37	22	24	0	0	6	8	8	38	9	1386	185	15	155	108	251	231	519	90	11
C6	41	24	26	38	20	6	8	9	28	10	2022	232	91	76	170	137	205	303	59	6
C7	40	22	27	27	15	7	8	7	41	10	1884	546	56	107	137	139	292	230	497	20
C8	37	20	23	24	18	7	10	8	31	6	1343	160	0	30	28	73	139	92	31	24
C9	46	27	31	49	31	12	13	13	39	13	2243	407	0	72	263	489	377	158	83	28
C10	35	20	25	34	20	8	10	8	30	9	5149	270	0	302	1238	556	1146	1101	861	7
C11	44	27	32	42	27	12	13	9	0	9	1630	1083	370	107	74	97	304	723	47	10

Con la aplicación del software *WEKA*, los árboles de decisión constituyen un modelo simple, se realizaron análisis con distintos algoritmos que *WEKA* tiene para árboles de decisión, resultando en el mejor de los casos con C4.5 una tasa de errores de 3.55%, generándose 40 reglas de clasificación. La matriz de confusión se utilizó para la evaluación del clasificador mostrando el tipo de predicciones correctas e incorrectas; en la diagonal de la tabla 4 aparecen los aciertos del clasificador y fuera de ella las desaciertos.

Un total de 291 instancias (80.33%) de 360 fueron clasificadas correctamente, sólo un 19.67% de ellas no pudieron ser clasificadas correctamente; el estadístico Kappa con 78.25 % nos indica que el grado de coincidencia que se obtiene con el clasificador es de buen acuerdo, siendo estos los mejores resultados obtenidos de todas las ejecuciones efectuadas con el software.

El cluster C0 tiene la mayor precisión en la clasificación con un 0.925, indicando un 92.5% de casos correctamente reconocidos con relación al total de términos predichos, sean verdaderos o falsos, seguido del cluster C2 con 0.905; los demás clusters a excepción de C4 y C7 (con valores de 0.5) muestran tener una buena precisión.

Tabla 4 Matriz de confusión

C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
62	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	54	0	2	1	0	1	0	0	0	0	2
1	0	19	0	1	2	0	0	0	0	0	0
0	5	0	14	0	0	0	1	0	6	0	0
0	1	1	0	7	1	5	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	36	0	1	3	0	0	0
2	3	0	0	2	0	41	1	0	0	0	0
0	0	0	2	0	1	1	3	0	2	0	0
0	0	0	0	0	4	3	0	17	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	21	2	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	10

Con respecto a la cobertura sólo los clusters C3, C4 y C7 presentan bajos valores, pero en el resto de los clusters la proporción de casos correctamente reconocidos con respecto al total de casos reales es muy buena. Los valores en la *medida F* indican que la bondad del clasificador es buena en casi todos los casos, a excepción de los clusters C4 y C7. Los valores en las tasas VP (verdaderos positivos) y FP (falsos positivos) corresponden a valores buenos para este clasificador, sólo para C4 y C7 en VP no.

En el árbol resultante en la aplicación del algoritmo C4.5 con el software WEKA, se presenta en la figura 1.

El hecho de que el estrato sea el atributo escogido como nodo raíz, implica la importancia del estrato socioeconómico para predecir la pertenencia a un determinado cluster. El punto de corte seleccionado para el estrato medio es el F1B, de modo que cuando el valor de ese factor sea menor igual a tres, se pasará a un nodo hijo donde entra en juego F1A, en caso contrario será entonces sanitarios el atributo que se examinará y así sucesivamente para cada caso, hasta completar las 27 hojas en esta ramificación. En el estrato alto, el punto de corte es el atributo correspondiente a compost, diferenciando la generación de éste, según sea menor a 4,593 gramos lo implicaría revisar el valor del atributo F8, y en caso contrario implicaría la pertenencia al cluster 10, y así sucesivamente hasta completar las 10 hojas. En el caso del estrato bajo, la clasificación se reduce a la generación de tres hojas, siendo el punto de corte la cantidad de generación de vidrio en valores menores o iguales a 57 y mayores a éste.

Las siguientes diez reglas de clasificación obtuvieron una cobertura del 70.83% del total de los casos de la muestra. El atributo inicial corresponde al nodo raíz a partir del cual se obtiene el árbol de clasificación subdividiéndose en base a los atributos cuyas características permiten obtener una clasificación exitosa según la etiqueta especificada (en este caso el número del cluster). En la parte final (en paréntesis), se indica la cantidad de aciertos y de fallos que se obtuvieron al aplicar la regla.

1. SI Est=M & F1B $\leq$ 3 & F1A $\leq$ 0 & P $\leq$ 198 & EC $\leq$ 75 ENTONCES cluster5 (38.0/2.0)
2. SI Est=M & F1B>3 & S $\leq$ 761 & Pa $\leq$ 143 & ID $\leq$ 250.3 & F1B>5 & P $\leq$ 198 & Ca $\leq$ 184 ENTONCES cluster0 (62.0)
3. SI Est=M & F1B>3 & S $\leq$ 761 & Pa $\leq$ 143 & ID>250.3 & F8 $\leq$ 10 & EC $\leq$ 56 & Ca $\leq$ 770 & Pa $\leq$ 25 ENTONCES cluster 6 (12.0)
4. SI Est=M & F1B>3 & S $\leq$ 761 & Pa $\leq$ 143 & ID>250.3 & F8 $\leq$ 10 & EC $\leq$ 56 & Ca $\leq$ 770 & Pa>25 & S $\leq$ 316 ENTONCES cluster1 (11.0)
5. SI Est=M & F1B>3 & S $\leq$ 761 & Pa>143 & M $\leq$ 116 & P $\leq$ 1000 & F8 $\leq$ 9 ENTONCES cluster6 (25.0/1.0)
6. SI Est=M & F1B>3 & S>761 & F3>9 & M $\leq$ 104 ENTONCES cluster2 (15.0)
7. SI Est=A & Co $\leq$ 4596 & F8 $\leq$ 10 & P $\leq$ 125 & Pa $\leq$ 243 & S $\leq$ 557 & EC $\leq$ 211 ENTONCES cluster1 (45.0/1.0)
8. SI Est=A & Co $\leq$ 4596 & F8 $\leq$ 10 & P $\leq$ 125 & Pa>243 & F6 $\leq$ 12 ENTONCES cluster3 (12.0/1.0)
9. SI Est=A & Co $\leq$ 4596 & F8>10 & F1A>46 & EC $\leq$ 126.8 ENTONCES cluster9 (16.0)

parte de atributos de generación y sólo el F8 (creencias de dispendio material en la generación, CDMG) por la parte de atributos de comportamiento. Estas características sólo son compartidas por el 11.11% del total de los casos de la tipología nuclear y el 42.31% del total de los casos de la tipología monoparental.

Las características que comparten los clusters C0, C1 y C6 de acuerdo a las reglas anteriores, para las familias de tipología extendida es que pertenecen al estrato socioeconómico medio, con valores predominantes en atributos como la generación de residuos entre semana, edad en los rangos de 30 a 39 años y de 50 a 59 años, nivel de escolaridad superior y media superior.

De otro conjunto de reglas, se obtiene para la familia con tipología nuclear se identifica principalmente por el atributo de comportamiento F8 (CDMG) y los atributos de generación referentes a compost, pétreo, plástico todos del estrato alto en los clusters C1 y C3 y, en lo particular en esos mismos clusters los atributos sanitarios y envase compuesto, la cobertura a las cuales involucran a estos atributos es del 30%, perteneciendo todos al estrato socioeconómico alto; para el caso de las otras dos tipologías es muy bajo con valores de 0.8% y 3.85% para las tipologías extendida y monoparental respectivamente.

Considerando a una cobertura del 6.67% se tiene una regla que a través de los atributos F1B (CDMG) y F3 (expresión del estilo de vida, EEV), sanitarios, metales, del estrato medio, agrupados en el cluster C2 caracterizan a la familia nuclear, con pertenencia al estrato socioeconómico medio; con una

cobertura del 2.34% se caracteriza a la familia con tipología extendida.

Como caso particular con coberturas de 8.33%, 11.72% y 15.39% en las tipologías familiares nuclear, extendida y monoparental la regla de clasificación que involucra a los atributos F1A (hábitos y consumo pro ambiental, HCPA), F1B (CDMG), pétreos, envase compuesto pertenecientes todos los casos al estrato medio y al cluster C5, el cual incluye solamente a jóvenes de 13 a 23 años, así como a la mayoría de los jóvenes de la muestra. Los valores sobre *conductas de normas en el consumo* se encuentran alrededor del promedio, mostrando tendencias a realizar acciones para generar menos residuos, pero que no son apoyadas con sus tendencia a la baja en *las creencias de austeridad en la generación*; el hecho de haber obtenido los valores más bajos en CDMG, PNHMR y NNAADR implica conocimiento a la problemática ambiental que se da por la generación de residuos y que debiera ser reflejado en su generación per-cápita, situación no aplicable puesto que muestran valores promedios altos en la generación de metales, cartón, vidrio y misceláneos.

V. CONCLUSIONES

A lo largo de éste artículo, se aplicaron algunas técnicas de reconocimiento de patrones en el entorno de la psicología ambiental y de la generación de residuos sólidos, encontrándose un clasificador de inducción de reglas que predijera los valores de perfiles de generación por tipología familiar. El uso de la herramienta informática WEKA permitió realizar un análisis amplio de los datos y de los resultados de su procesamiento.

Tradicionalmente las comparaciones se hacen a través de la estadística, utilizando

diversas técnicas para extraer las características que definan determinado comportamiento. Se trabajó bajo la premisa de no existir ningún único subgrupo ideal para cada caso, por lo que los mejores resultados en clustering y clasificación dependieron de la forma en que fueron aplicados.

A la vista de los resultados se puede decir que la gente joven tiene una buena conciencia del problema ambiental provocado por los residuos pero que esta concepción no se ve reflejada en la realidad al momento de contrastarlo con la generación de residuos provenientes de su vivienda.

La familia extendida, según los valores promedio en los clusters en los que fueron ubicados, muestran tener conocimiento del problema ambiental que provocan los residuos, pero su atributo característico en la clasificación en *falta de compromiso ante el problema ambiental*, se refuerza con los valores altos en *creencias de dispendio material* y en las cantidades de generación en todos los atributos referentes a composición.

Contrario a la familia extendida, la familia nuclear, perteneciente al estrato alto, observan valores de *creencias de dispendio material en la generación* bajos, aunque dentro de sus principales características en el cluster al cual fueron asignados, el promedio de generación en *compost* no fue el más alto, *pétreos* no generaron, y *plásticos* sean los que más generan.

En el caso de que la familia nuclear pertenezca al estrato medio, es significativa su relación de aspectos como la *falta de compromiso ante el problema ambiental* con sus puntuaciones promedio en expresiones del estilo de vida, sobre todo por

ser los que más generan residuos de *sanitarios*, así como, ser los que menos generan *metales*.

Este proceso metodológico puede resultar adecuado para ser aplicado para conocer características que permitan formar un perfil de actitud de las familias ante la generación de los residuos. Es una técnica que permite obtener información de un modo rápido y que se puede aplicar tanto para reconocer la situación inicial como para averiguar los resultados de actividades de sensibilización ante los residuos urbanos.

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a CONACYT por la financiación de este trabajo a través del apoyo económico en la realización de los estudios de doctorado.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barreiro, J.M, López, M.A., Losada, F., Ru-zo, E., 2002. Análisis de las dimensiones cognitiva y afectiva del comportamiento ecológico del consumidor. *Revista Gallega de Economía*, vol. 11, núm.2, 1-21.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente, Gobierno de Chile 2001. Proyecto minimización de envases y embalajes; guía técnica de sensibilización para consumidores.
- Corral, V., 2000. Psicología de la Conservación: el estudio de las conductas protectoras del ambiente. En Corral, V. (Ed). *Conductas protectoras del ambiente; teoría, investigación y estrategias de intervención*. Cap. 1. p.11 - 28.
- Corral, V., 2001. Comportamiento pro ambiental. Tenerife, España, Ed. Resma.
- Díaz, L., 2000. Determinantes conductuales de la Administración pro ambiental. En Co-

rral, V. (Ed). *Conductas protectoras del ambiente; teoría, investigación y estrategias de intervención*. Cap. 7. P.117-144.

Duda, R & Hart P., 2001. Pattern Classifications and Scene Analysis. John Wiley and Son, Inc.

Fisher, D., 1996. Iterative optimization and simplification of hierarchical clusterings. *Journal of Artificial Intelligence Research* 4, pp 147-179.

Grossman, R., Kasif, S., Moore, R., Rocke, D. y Ullman, J., 1999. A Report of three NSF WorkShops o Mining Large, Massive, and Distributed Data. *Data Mining Research: Opportunities and Challenges*; National Science Foundation from the Information and Data Management Program, the Algebra and Number Theory Program, from the Statistics and Probability Program.

Kittler, J. 2002. Reconocimiento de patrones. Seminario de reconocimiento de patrones de grupo de tratamiento de imágenes del Instituto de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Surrey.

Kohonen, T.; Hynninen, J.; Kangas, T. & Loaksonen, J., 1995. The self-organizing map program package. SOM Programming Team of the Helsinki University of Technology Laboratory of Computer and Information Science, FINLAND.

Márquez, M.Y., 2004. Comportamiento ambiental de una población según la composición de los residuos sólidos domiciliarios. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas. Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California.

Molina, J.M. y García, J., 2004. Técnicas de análisis de datos: aplicaciones prácticas uti-

lizando Microsoft Excel y Weka. Universidad Carlos III de Madrid.

Morales, P., 2000. Medición de actitudes en psicología y educación. Universidad Pontificia de Comillas/ICAI-ICADE, Madrid, España.

QUINLAN, J.R., 1986. Induction of decision trees. *Machine Learning*, vol. 1, n° 1, pp. 81-106.

Statsoft, Inc 2003. STATISTICA (ver. 6.0) [Software de computadora]. Tulsa, OK USA: Autor

Suarez, E., 2002. Problemas ambientales y soluciones conductuales. En Aragonés, Juan Ignacio y Amérigo, María. *Psicología Ambiental*. Ed. Pirámide; Madrid, España.

Tonglet, M.; Phillips, P.S. y Bates, M.P., 2004. Determining the drivers for householder pro-environmental behavior: waste minimisation compared to recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 42 No. 1 pp 27-48.

WEKA 3.4.2. Waikato Environment for Knowledge Analysis. Copyright (C) 1998-2004. University of Waikato, New Zealand.

Zamorano, J., 2006. Técnicas cuantitativas para la extracción de términos en corpus. Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid.

Zaragoza, O. Tradición-Modernidad y creencias ambientales. La relación de tradición y modernidad con las creencias ambientales. Maestría en Psicología Universidad de Sonora.

<http://www.psicom.uson.mx/maestria/informacion/fzaragoza.htm> (2002).

El Problema de los Residuos Domésticos en la Ciudad de Tepic.

Claudia Estela Saldaña Durán
Universidad Autónoma de Nayarit
email: cesduran@nayar.uan.mx

Gerardo Bernache Pérez.
CIESAS de Occidente.
email: gbernache@yahoo.com.mx

Resumen

La presente investigación se enfoca a la determinación del monto y a caracterizar la composición material de los residuos domésticos. También se analiza la producción de residuos domésticos de tipos sanitarios y contaminantes.

La estrategia de investigación se basa en un muestreo de hogares representativos de Tepic, la capital del estado de Nayarit. A partir de la recolección de muestras de residuos sólidos de los 100 hogares, se lleva a cabo un minucioso trabajo de identificar, clasificar, tomar el peso de los artículos y registrar la información para generar una serie de bases de datos y realizar un análisis de los resultados. La producción de los residuos sólidos municipales en Tepic supera las 300 toneladas diarias, tan sólo de residuos domésticos se producen unas 164 toneladas diarias. Se detectó una frecuencia alta de los residuos de tipo sanitario y, a su vez, una incidencia baja de los desechos contaminantes. El manejo de estos residuos sólidos ocasiona un serio impacto de degradación ambiental a partir de su entierro en vertederos municipales no controlados como es el caso del sitio El Ixtete.

Palabras Clave: *Residuos sólidos domésticos, desechos sanitarios, residuos domésticos contaminantes y residuos sólidos municipales.*

Abstract

The present investigation focuses on the study and characterization of household solid wastes. Besides the general production of wastes, this

study pays attention to the generation of special wastes such as sanitary discards and household hazardous wastes.

The study begins with the sample of 100 representative homes of the city of Tepic, capital of Nayarit state. Once the samples of household wastes were obtained from the families, the wastes were classified, weighted and the data was recorded. The results indicate that the daily production of the municipal solid wastes in Tepic surpasses the 300 tons, the domestic waste component reaches the 164 tons per day. Regarding special household wastes, the sanitary discards have a high frequency, meanwhile the household hazardous wastes have a low incidence. The present management scheme of municipal waste is problematic, and generates pollution, since wastes are dumped in the municipal uncontrolled site known as El Ixtete.

Key Words: Household solid wastes, sanitary discards, household hazardous wastes, municipal solid wastes.

I. INTRODUCCIÓN

Tepic es una ciudad con una población de 265,817 mil habitantes (INEGI, 2000) que con sus actividades económicas y sociales, así como su vida cotidiana, en el ámbito doméstico producen una variedad de desechos que superan las 300 toneladas por día.

El monto de la producción diaria de residuos municipales plantea un reto para su manejo

por parte de los ayuntamientos, los cuales deben establecer programas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final. Cuando los programas de los servicios municipales no cumplen cabalmente con un servicio eficiente y una cobertura del 100% de los usuarios se ocasiona otros problemas, entre otros la proliferación de basuras en la vía pública y en lotes baldíos. Sin embargo, el problema mayor tiene que ver con la disposición final inadecuada en basureros o vertederos, que no tienen una infraestructura completa para controlar la contaminación y la consecuente degradación ambiental alrededor de la zona de disposición. A final de cuentas, un manejo inapropiado de los desechos en las diferentes etapas puede dar lugar a una serie de riesgos a la salud pública y la contaminación ambiental.

Nuestro entorno ambiental, entra en juego cuando los desperdicios domésticos son enterrados en los sitios de disposición final, los cuales por lo general son simplemente hondonadas o barrancas que pronto se convierten en focos de contaminación ambiental regional.

El incremento en la producción de desechos municipales tiene repercusiones negativas en la salud de las personas, sobre todo por la presencia de desechos domésticos contaminantes y los residuos sanitarios.

La solución ideal es sencilla: no generar residuos y eliminar los basureros. Pero falta mucho para llegar a ese punto, ahora lo que se está buscando es ordenar y normar los sitios de disposición final, impulsar el reciclaje y los programas de reducción de los residuos.

En México, los programas y las políticas públicas para un mejor manejo de los

residuos sólidos se desarrollaron en la década de los noventa cuando la Secretaría de Desarrollo Social, con financiamiento del Banco Mundial, puso en marcha una serie de iniciativas encaminadas a capacitar a los gobiernos municipales (INE, 1997).

Además, en la década de los noventa surgieron organizaciones como MIRES (Manejo Integral de Residuos Sólidos), SUSTENTA compromiso empresarial para el manejo integral de residuos sólidos, REMEXMAR (Red Mexicana de Manejo Ambiental de Residuos), que tienen como objetivo orientar y complementar el conocimiento de las autoridades estatales y municipales competentes en la gestión de los residuos sólidos municipales (Memorias Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Residuos Sólidos, 1998).

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

En esta investigación se propone realizar un estudio de los residuos sólidos en la ciudad de Tepic. El objeto de estudio son los residuos de origen doméstico, de donde proviene la mayor parte de los residuos municipales. Las preguntas que orientan esta investigación son: ¿Cuál es la magnitud de la generación de residuos domésticos en Tepic? ¿A cuánto asciende la producción *per cápita* de residuos domésticos?, ¿Cuál es la composición material de los residuos domésticos?, ¿Cómo contribuyen los residuos domésticos al monto total de residuos municipales en la ciudad de Tepic?, ¿Qué tipo de desechos contaminantes se pueden identificar como componentes regulares de los residuos domésticos?, ¿Cuál es la incidencia de desechos que puedan considerarse como sanitarios?

El trabajo de campo que se realizó fue la recolección de muestras de residuos directamente de los generadores residenciales. Cada bolsa de residuos domésticos fue sometida a un procedimiento de separación, clasificación y registro pormenorizado de la composición de la basura. Durante el proceso también se tomaron muestras de especímenes para análisis microbiológico de laboratorio con el fin de detectar la presencia de microorganismos patógenos. Por último, se identificó y se realizó un registro de productos y desechos domésticos con características contaminantes.

La propuesta fue estudiar 100 muestras de residuos obtenidas directamente del mismo número de hogares de la localidad de Tepic, utilizando un muestreo aleatorio sistematizado que nos permitió tener una mayor cobertura del universo potencial. Es importante resaltar que en este tipo de estudios, los recursos son limitados y no fue posible trabajar con una muestra mayor de viviendas.

Se obtuvo una muestra de residuos domésticos de 100 familias, cada muestra representa los residuos generados en un lapso de 4 a 6 días, dependiendo de la zona muestreada.

Para la selección de la muestra de 100 familias, se tomó como base el total de 117 Áreas Geo Estadísticas Básicas (AGEBs) del INEGI (2000), estos AGEBs son las unidades básicas que utiliza el INEGI para los censos. Se hizo una selección en tres etapas, primero se seleccionaron 10 AGEBs de forma aleatoria, enseguida de esos AGEBs seleccionados se obtuvieron aleatoriamente cinco manzanas y, posteriormente, se sortearon dos viviendas habitadas en cada

una las manzanas. Cada hogar fue visitado dos veces por nuestro equipo una para presentarnos y tener su aprobación para participar y para obtener una primera bolsa de residuos domésticos, luego se visitó otra vez para obtener la segunda bolsa de residuos. Las dos bolsas de residuos obtenidas de cada vivienda fueron analizadas como parte de una misma unidad de muestra.

Se realizó trabajo de campo por semanas, en cada semana se trabajó en un AGEB, por lo que la recolección de las 100 muestras se realizó en un periodo de 10 semanas.

Una vez que la familia aceptaba participar en nuestro estudio, se le tomaban los datos sociales y demográficos básicos.

Procedimiento de análisis por muestra.

Caracterización de Residuos Domésticos

1. Registro del peso total de cada muestra.
2. Identificar y clasificar los subproductos.
3. Registrar el peso en gramos por subproducto.
4. Captura de bases de datos y análisis de datos por categorías de selección.
5. Relacionar la producción de residuos con las características demográficas de la muestra.

Residuos Sanitarios

1. Registro de datos generales de la muestra.
2. Identificar y caracterizar los residuos sanitarios.
3. Separación y registrar el peso (gramos) de cada tipo de residuo.

4. Recolectar 120 especímenes de los diversos tipos de desechos sanitarios y prepararlas en bolsas especial marcadas, mismas que se depositaban en hielera y eran transportadas al laboratorio de microbiología.
5. Análisis microbiológico para detectar la presencia de tres tipos de bacterias patógenas: *Salmonella spp.*, Coliformes totales y *Streptococcus faecalis*.
6. Captura de dos bases de datos: frecuencias de sanitarios por tipo y resultados del análisis microbiológico.
7. Análisis de datos.

Clasificación de los Desechos Domésticos Contaminantes

1. Registro de datos generales de la muestra.
2. Identificación de los desechos domésticos contaminantes.
3. Separación por cada tipo de producto.
4. Registro de datos de residuos contaminantes.
5. Captura de base de datos.
6. Análisis de datos de residuos contaminantes.

III. RESULTADOS

Generación de residuos sólidos domésticos

Se estimó el promedio diario de generación de residuos domésticos por persona fue de 538.5 gramos diarios. Es el monto de basura que una persona promedio produce dentro de su vivienda como resultado de las actividades cotidianas de alimentación, higiene, limpieza de la casa y demás actividades que realiza en casa. Si extrapolamos esta cifra al total de la población de Tepic obtendremos un monto

diario de 143 toneladas de residuos domésticos para la ciudad y 164 toneladas para todo el municipio de Tepic.

Se obtuvieron datos de composición de los residuos sólidos domésticos por subproducto como se muestra en la Tabla 1. Los tipos de residuos que tienen una mayor participación son: orgánicos de cocina, papel, orgánicos de jardín, plástico en película (bolsas), plásticos rígidos, pañal desechable, cartón, "otros" y vidrio transparente.

Tabla No. 1. Tasas de generación y composición de los Residuos Sólidos Domésticos en la ciudad de Tepic.

Subproducto	gramos	%
Algodón	25	0.04%
Cartón	2,116.6	3.31%
Cuero	8.9	0.01%
Residuo fino	1130.6	1.77%
Envases de cartón encerado	255	0.40%
Fibra dura natural	311.6	0.49%
Fibras sintéticas	236.8	0.37%
Hueso	621.4	0.97%
Hule	64.5	0.10%
Lata	908.3	1.42%
Loza y cerámica	588.9	0.92%
Madera	207.7	0.32%
Material de construcción	576.7	0.90%
Material ferroso	337	0.53%
Material no ferroso	0	0.00%
Papel	5,778.5	9.04%
Pañal desechable	3,253.5	5.09%
Plástico de película	3,748.1	5.86%
Plástico rígido	3,389.5	5.30%
Poliuretano	53.7	0.08%
Poliestireno expandido	244	0.38%
Residuos de jardinería	4,233.5	6.62%
Residuos alimenticios	31,745.6	49.65%
Trapo	636	0.99%
Vidrio de color	409.5	0.64%
Vidrio transparente	1,358.6	2.12%
Otros	1,704.4	2.66%
TOTALES	63,943.9	100%

A continuación se presentan los resultados integrados en 8 categorías materiales: los orgánicos, el plástico, el vidrio, el papel, los textiles, la madera, los metales y otros tipos. La figura 1, a continuación, presenta el perfil porcentual con que contribuye cada categoría de composición. Como se puede observar, el material más importante de los residuos sólidos domésticos son los residuos orgánicos que contribuyen con un 56% del total del peso (residuos alimenticios y orgánicos de jardín). El municipio de Tepic está produciendo unas 81.6 toneladas diarias de orgánicos domésticos.

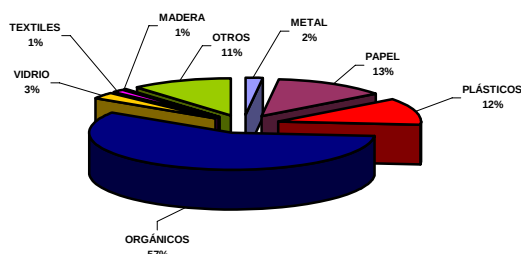


Figura No. 1. Composición de los RSD Tepic, Junio 2002.

Después de los orgánicos siguen en orden de importancia: el papel y cartón con un 13%; los plásticos con 12%; y “otros” tipos de residuos (zapatos, pañales, materiales combinados como tetrapaks y más) con 11%. Por último, materiales como el vidrio, metales, madera y textiles contribuyen con un total combinado de 7%.

Los Desechos Sanitarios en los Residuos Domésticos. Se define como desecho sanitario al residuo sólido que se produce en las viviendas y que es portador activo de agentes patógenos de origen biológico.

Los resultados en este rubro son: la producción diaria de residuos sanitarios en la ciudad de Tepic alcanza las 80 toneladas. Cada individuo genera 300 gramos diarios de sanitarios. Un 55.7% de los residuos sólidos domésticos en Tepic son residuos sanitarios. En la Figura 2 se presentan los resultados de acuerdo a los seis tipos de desechos sanitarios.

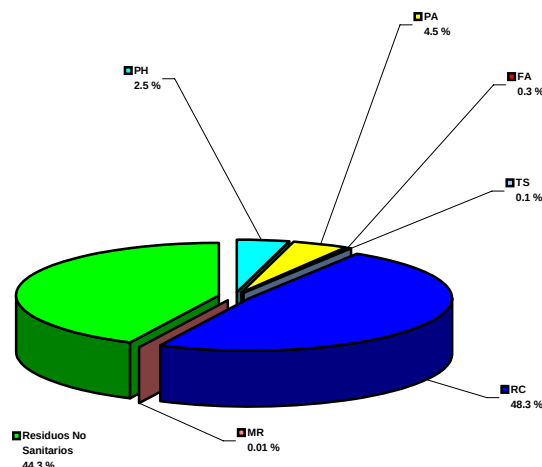


Figura No. 2. Producción de Desechos Sanitarios en base a la producción total de los RSD en Tepic, Junio 2002.

El tipo de residuos que tiene la mayor contribución son los restos de comida (RC) que aportan el 86% del total de los residuos sanitarios. En segundo y tercer lugar vienen las contribuciones de los pañales desechables (PA) 8% y el papel higiénico (PH) 4.5%. Por último, una contribución mínima de 1.5% proviene de la combinación de tres tipos de sanitarios: las toallas sanitarias (TS), de las heces fecales de animales (FA) y la mezcla de residuos orgánicos (MR).

Respecto al papel higiénico, a la toalla sanitaria, al pañal desechable y a las heces de mascota es obvio que estos residuos son portadores directos de microorganismos patógenos. Sin embargo, al juntarse y revolverse los residuos de diversos tipos en el bote de la basura, entran en contacto los residuos orgánicos de la cocina con los patógenos originados en otras áreas de la vivienda. El hecho es que diversos desechos se mezclan en el bote de basura y brindan un buen sustrato para el mantenimiento y desarrollo de los microorganismos patógenos.

Análisis Microbiológicos de los Desechos Sanitarios. Los análisis microbiológicos que realizó Pinto (2003), confirman la presencia de microorganismos patógenos en los desechos sanitarios. Respecto a la presencia de bacterias (microorganismos patógenos) en los diversos tipos de desechos sanitarios que se muestrearon, el análisis de laboratorio arrojó los siguientes resultados: los coliformes totales están presentes en el 100% del total de las muestra analizadas, mientras que, el *St. feacalis* se encuentra presente en el 45% y la *Salmonella Spp.* está sólo en el 10% de todos los tipos de muestras analizadas (véase la Figura 3).

Se puede afirmar que este estudio de los desechos sanitarios, ha generado datos sólidos que apuntan a una abundante presencia de patógenos en los residuos domésticos. En los residuos del hogar se reproducen y transportan microorganismos patógenos que ocasionan las enfermedades gastrointestinales comunes en México como son: la *Salmonella spp.*, los coliformes totales y el *St. Feacalis*

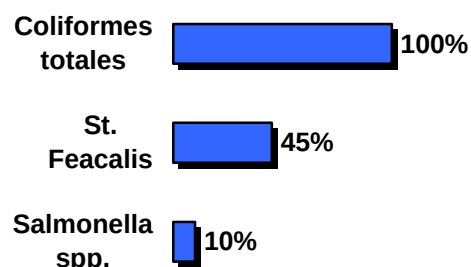


Figura No. 3. Presencia de patógenos en muestras de desechos sanitarios

Los residuos domésticos contaminantes.

Se encontraron evidencias de desechos domésticos contaminantes en las basuras de todas las viviendas que fueron muestreadas. Los tres tipos de desechos contaminantes con mayor frecuencia fueron: medicinas y fármacos (31%); cosméticos (29%); y las baterías (14%). En promedio, una familia típica de Tepic produce 3 artículos contaminantes cada ocho días. Un habitante genera 1 artículo cada doce días.

Se estima que la ciudad de Tepic genera alrededor de 472 kilogramos diarios de desechos domésticos contaminantes. Si multiplicamos esta cantidad por 365 días de un año obtenemos el total de 172.428 toneladas anuales.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados del estudio indican que cada habitante de Tepic produce un promedio de 539 gramos de residuos sólidos domésticos. Esto es, de los desechos que generan las actividades que tienen lugar exclusivamente en las viviendas.

La Ciudad de Tepic genera cada día un monto de 143.15 toneladas de residuos domésticos, mientras que el municipio de Tepic, que es más amplio, genera unas 164.35 toneladas de residuos domésticos.

Si se compara la producción de residuos de Tepic con las ciudades de Distrito Federal, Guadalajara y con un promedio generado para ciudades estudiadas por Rathje, el resultado es el siguiente.

La Tabla 2, muestra el perfil de composición material en cuatro casos. En el cuadro se observa que las tres principales categorías de residuos en la basura doméstica: orgánicos, “otros” y papel-cartón. La diferencia entre las tres ciudades mexicanas se puede interpretar como una evidencia del crecimiento paulatino de la proporción de materiales plásticos en los residuos domésticos.

Tabla No. 2. Perfil porcentual de los residuos domésticos en cuatro ciudades.

Material	Tepic 2002	Distrito Federa l 1987	Guadalajar a 1997	EEUU 1987
Metales	2	3	2	7
Papel Cartón	13	19	11	29
Plástico	12	7	9	6
Vidrio	3	7	4	10
Orgánicos	56	53	54	31
Otros	13	10	21	17

Fuentes: Rathje y cols. 1989; Restrepo y cols. 1991;
Bernache y cols. 1998.

Lo que más destaca en la comparación con las ciudades estadounidenses es la diferencia en la producción de residuos orgánicos de cocina. Aunque en los dos perfiles se observa que la categoría de orgánicos es importante, sin embargo hay una diferencia de 25 puntos porcentuales

entre la proporción para Tepic (56%) y la de EEUU (31%). Para los norteamericanos las cuatro categorías más importantes en la producción de residuos son: orgánicos, papel, otros y vidrio. Mientras que en Tepic las categorías más importantes son: orgánicos, papel, otros y plástico.

Tepic tiene –comparado con el Distrito Federal y Guadalajara—una menor producción de metales y vidrio así mismo Tepic tiene una producción alta de materiales plásticos de diversos tipos y una producción ligeramente superior de materiales orgánicos.

Por otra parte, en las categorías de papel y “otros” se observa que Tepic tiene un patrón de producción que se encuentra en un punto intermedio entre el Distrito Federal y Guadalajara.

Pero la diferencia principal entre EEUU y en México es el peso de los residuos domésticos por individuo. Tabla 3, presenta las cifras de producción de residuos en las cuatro ciudades referidas.

Tabla No. 3. Monto de la generación de residuos en cuatro ciudades.

Ciudad	Peso per cápita (gramos por día)
Tepic	539
Guadalajara	508
Distrito Federal	412
Promedio EEUU	1,040

Fuentes: Rathje y cols. 1989; Restrepo y cols. 1991,
Bernache y cols. 1998.

Actualmente se puede considerar que la producción de residuos domésticos por individuo en zonas urbanas de México está actualmente por encima de los 500 gramos. Los residuos domésticos que produce una persona en México representan la mitad de

la producción típica de residuos domésticos de un individuo norteamericano. La producción de residuos tiene relación con el ingreso de las personas, y en el caso de los estadounidenses, se puede apreciar que una sociedad afluyente y con una cultura de consumo muy arraigada puede resultar en una producción alta de residuos domésticos.

En cuanto a las estimaciones proporcionadas por la SEDESOL/INE para la Zona Norte del país, se indica que la producción de residuos sólidos municipales diaria por persona está en el orden de los 891 gramos. De ser así, esto significa que los residuos domésticos (538.5 grs.) representan el 60% de los residuos municipales.

Si se toma la cifra de 891 gramos/día y se estima la producción de residuos en la ciudad y en el municipio de Tepic, se tiene que éstos producen un total diario de 236.843 toneladas y 271.912 toneladas respectivamente.

La Ciudad de Tepic estaría generando 1,658 toneladas por semana, 7,105 toneladas mensuales y un monto anual de 86,447 toneladas de residuos municipales. La producción del municipio es más elevada, el municipio de Tepic generaría 1,903 toneladas semanales, 8,157 toneladas mensuales y un monto anual de 99,248 toneladas.

En la tabla No. 4 se muestra una estimación de la generación de residuos en los próximos años (una tasa de crecimiento anual de 1.55%), de acuerdo al perfil de composición de los residuos domésticos.

El componente orgánico de los residuos domésticos representa el 56% en Tepic, mientras que de acuerdo a Restrepo y sus cols. (1991) en el Distrito Federal los orgánicos tenían una presencia del 53% en

los residuos domésticos. También los resultados del estudio realizado en la zona metropolitana de Guadalajara (Bernache y cols., 1998), indican que la materia orgánica representaba el 54% en los residuos domésticos. El mismo estudio reportó que en el municipio de Tonalá, Jalisco la producción de material orgánico fue del 45.34% del total de los residuos. Esto confirma que los desechos de tipo orgánico (restos de comida y de jardín), son la categoría más importante en la composición de los residuos de origen doméstico.

Tabla No. 4. Proyección en la producción de los Residuos Sólidos Domésticos en la Ciudad de Tepic.

Subproducto	%	Generación en Toneladas			
		1 día	1 año	10 años	20 años
Orgánico	57	94	34,176	398,585	929,715
Papel	13	21	7,795	90,905	212,040
Plástico	12	20	7,195	83,913	195,729
Otros	11	18	6,595	76,920	179,419
Vidrio	3	5	1,799	20,978	48,932
Metal	2	3	1,199	13,985	32,622
Textiles	1	1.6	600	6,993	16,311
Madera	1	1.6	600	6,993	16,311
Totales	100	164	59,958	699,272	1'631,078

Desechos sanitarios: un riesgo para la salud pública.

Los desechos sanitarios tienen una presencia alta en la composición de los residuos sólidos domésticos, los sanitarios representan el 56% del peso total. Los desechos sanitarios se componen principalmente de materia orgánica que contribuye con el 84% de los desechos sanitarios. Los desechos orgánicos que provienen de la cocina, como los restos de comida, son un sustrato fértil para sustentar y reproducir la presencia bacteriana. En lo

que se refiere al manejo de la basura doméstica, es importante no mantener este tipo de residuos dentro de la casa por un tiempo prolongado (más de tres días), de preferencia su disposición y su recolección por parte del Departamento de Aseo Público debería ser cada segundo día.

La producción de residuos sólidos domésticos en el municipio de Tepic es de 164 toneladas diarias, de los cuales el 56% (92 toneladas) son desechos sanitarios que contienen una variedad de bacterias y microorganismos patógenos.

En el estudio de Pinto “Evaluación de riesgo biológico por coliformes totales, *Salmonella spp.* y *Streptococcus faecalis* en basura de Tepic” se reporta que los pañales desechables son el tipo de desechos sanitarios que tienen una mayor presencia de coliformes totales (Pinto 2003). Los pañales contribuyen con 8% del peso total de los desechos sanitarios. Por otra parte, la viabilidad que presenta la *Salmonella spp.* en el pañal desechable es alta. Se detectó la presencia de *Salmonella spp.* en el 25% de los especímenes analizados en laboratorio.

Los residuos de comida contribuyen con 84% del peso de los sanitarios, y el análisis de laboratorio reportó una presencia del 2.75×10^8 de UNF de coliformes totales en este tipo de desechos. Este es el tipo de desechos sanitarios más común en las viviendas, y es el que se encuentra por lo general depositado en un bote o contenedor dentro de la cocina.

Respecto al riesgo sanitario que presenta el papel higiénico se puede señalar que se detectó *Salmonella spp.* en 11% de las muestras. Además, los resultados indican que en el 61% de las muestras de papel

sanitario se confirmó la presencia de *Streptococcus faecalis*, estuvo presente en 60% de las muestras de heces de mascotas.

Los resultados indican que las condiciones que reúne la basura doméstica en el hogar son favorables para la reproducción de los agentes patógenos estudiados aquí (Coliformes totales, *Salmonella spp.* y *Streptococcus faecalis*).

En un estudio efectuado por Meza (2002), se analizaron los lixiviados que escurren del vertedero conocido como Río Mololoa en Tepic. La investigación confirmó la presencia de altos niveles de *Streptococcus faecalis*, y niveles moderados de coliformes fecales, *Citrobacter Spp.*, *Shigella Spp.*

Por otra parte, Bernache y cols. (1998) en su estudio en Tonalá, Jalisco reportan que las pruebas de laboratorio a los lixivados de los vertederos de basura municipal (Vertederos de Copala y Los Laureles), confirmaron la presencia de coliformes totales y E. Coli. Tal presencia es un indicador de que los lixivados que escurren de los vertederos son residuos peligrosos (en este caso por residuos de tipo biológico-infeccioso) de acuerdo a la normatividad ambiental vigente en México.

Esto refleja que las bacterias encuentran en los residuos domésticos las condiciones apropiadas para su reproducción, como son la temperatura, el alimento, la humedad y el oxígeno. Tal reproducción tiene lugar en los días que se acumula la basura dentro del hogar, hasta que se saca de la vivienda para entregarla al camión recolector. El riesgo de estos agentes patógenos sobre la salud pública es alto, ya que pueden ocasionar una serie de enfermedades gastrointestinales a los miembros de las familias, a partir del manejo y

almacenamiento de basuras dentro del hogar.

El consumo de productos contaminantes en los hogares.

Se identificaron y registraron los productos contaminantes que estuvieron presentes en la basura de las viviendas, los de mayor frecuencia fueron las medicinas y fármacos, los cosméticos, las baterías y los productos limpiadores utilizados en el hogar.

Restrepo y colaboradores (1991), en la caracterización de los residuos contaminantes en el Distrito Federal reportaron una mayor presencia de los siguientes tipos de desechos domésticos contaminantes: limpiadores domésticos, productos para el mantenimiento de la casa y los productos cosméticos.

Si se realiza una estimación de los montos de residuos calculando una tasa de producción del 0.33% se obtiene un monto diario de 542 kilos para el municipio de Tepic y de 472 kilos para la Ciudad de Tepic. Esta estimación nos resulta en un rango de producción que va de las 198 a las 172 toneladas anuales de residuos domésticos contaminantes, que van a enterrarse sin un control adecuado en el vertedero municipal El Ixtete. Sin duda, estos montos de productos y sustancias tóxicas de diversos tipos, ocasionan un impacto ambiental negativo de una escala considerable en el predio donde se entierran y su entorno regional.

V. CONCLUSIONES

Se concluye que el problema de la basura municipal en Tepic es un resultado de los crecientes montos de generación de residuos, así como por el riesgo que

presentan a la salud de la población la presencia de residuos sanitarios y desechos domésticos contaminantes en los residuos municipales. Los residuos municipales y especiales ocasionan degradación ambiental en las zonas aledañas a los vertederos municipales.

El problema de la basura le plantea al Ayuntamiento de Tepic una serie de retos. El principal reto es desarrollar un sistema de manejo que sea eficiente en la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de desechos municipales. Un sistema de manejo de residuos que cumpla cabalmente con los criterios de protección a la salud pública y con la normatividad ambiental vigente en México.

Se determinó que la producción individual de residuos sólidos domésticos es de 538 gramos por día. La ciudad de Tepic produce unas 143 toneladas diarias de residuos domésticos, mientras que el municipio de Tepic produciría unas 164 toneladas por día. Mientras que la producción per cápita de residuos municipales es de 829 gramos diarios. La ciudad genera 223 toneladas diarias de residuos municipales y 253 toneladas en el municipio de Tepic.

Los desechos sanitarios mostraron una presencia alta de agentes patógenos en la basura residencial. La reproducción de estos microorganismos, está relacionada con una mayor incidencia de enfermedades gastrointestinales en la población.

Los productos contaminantes en las viviendas es moderada, su presencia es significativa y todo parece indicar que el consumo y la producción de estos desechos son cada vez mayores.

VI. AGRADECIMIENTOS

A La Facultad de Ciencias e Ingenierías de la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN).

Al Dr. Carlos Ignacio Parra Contreras, Director de los Servicios de Salud en el Estado de Nayarit.

Al Profesor José de Jesús Suárez Flores, Director de Aseo Público de Tepic.

A la M. en C. Susana Marcela Flores, Investigador de la UAN.

A los pasantes y estudiantes de la carrera de Químico Fármaco Biólogo de la UAN.

VII. REFERENCIAS

- Bernache, G., M. Bazdresch, J., L. Cuéllar y F. Moreno 1998. *Basura y Metrópoli. La gestión social y pública de los residuos sólidos en la zona metropolitana de Guadalajara*. U de G, ITESO, El Colegio de Jalisco y CIESAS, México, 238 p.
- Bernache, G. 2000. *Los Ayuntamientos y el desarrollo sustentable: el desafío de la gestión de residuos sólidos*. *Vetas*.5, 67-86
- Buenrostro, D.O. 2001 *Los Residuos Sólidos Municipales: Perspectivas desde la Investigación Multidisciplinaria*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México, 199p
- INE (Instituto Nacional de Ecología). 1997 *Estadísticas e indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México*. Publicado por la SEMARNAP, México, D.F. 58 p.
- Instituto Nacional de Ecología, 2001. *Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales*. México. 198 p. 18/12/02. 14:30 Horas. <http://www.ine.gob.mx/ueaje/publicaciones/libros/344/introd.html?...>
- INEGI 2000. *Sistema para la Consulta de Información Censal. XII Censo General de Población y Vivienda. Resultados definitivos*. México.
- Meza, M. 2002. *Análisis de la Problemática del Relleno Sanitario-Río Mololoa del Municipio de Tepic, Nayarit*. UAN, Tepic, México. 159 p.
- Memorias del Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Residuos Sólidos. 1998. Sustenta, compromiso empresarial para el manejo integral de residuos sólidos e I.N.E. México DF, octubre 1998.
- Pinto, E. 2003. *Evaluación de riesgo biológico por coliformes totales, Salmonella spp. y Streptococcus faecalis en basura de Tepic*. UAN, Tepic, México. 90 p.
- Rathje, W., Wilson, V., Lambou, V., Herndon, R. 1987. *Characterization of Household Hazardous Waste from Marin County, California, and New Orleans, Louisiana*. Environmental Monitoring Systems Laboratory Office of Research and Development U. S. Environmental Protection Agency Las Vegas, Nevada 93478
- Rathje, W., D. Wilson, W. Hughes, y T. Jones. 1989. *The Phoenix Recyclables Report. Characterization of recyclable materials in residential solid waste*. The Garbage Project, B.A.R.A, University of Arizona, Tucson Arizona.
- Restrepo, I. y D. Phillips 1983 *La Basura. Consumo y desperdicio en el Distrito Federal*. Publicado por el Instituto Nacional del Consumidor (edición 1985, editado por el Centro de Ecodesarrollo), México, D.F. 193 p.
- Restrepo, I., Bernache, G. y Rathje, W. 1991. *Los Demonios del Consumo. Basura y Contaminación*. Centro de Ecodesarrollo, México, 270 p.
- SEMARNAT 2001 *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales*. Publicado por la SEMARNAT, México, D.F. 198 p. 12/02/03 10:30 Horas. <http://www.semarnat.gob.mx>
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. Y Vigil, S. 1997. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. McGraw-Hill. México, 1107 p.
- Trejo, R., (1997). *Procesamiento de la basura urbana*, Trillas, México, 283 p.
- Wilson, D. y Rathje, W. (1988). *Characteristics of Household Hazardous Waste*. Third National Conference on Household Hazardous Waste Management. Boston Massachusetts

Caracterización de residuos sólidos el potencial de reciclaje para una institución de educación superior

Carolina Armijo de Vega¹, Sara Ojeda Benítez¹, Ma. Elizabeth Ramírez Barreto¹,

¹Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California

Mexicali, Baja California C.P. 21280, México

e-mail address: carmijo@uabc.mx

Resumen

Para el desarrollo sustentable, uno de los retos más grandes de las últimas décadas es el contar con sistemas integrados de manejo de residuos. Para esto, el primer paso es realizar estudios de caracterización de residuos. En este artículo se reportan los resultados de un estudio de caracterización de residuos realizado en el campus Mexicali I de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). El propósito de este estudio fue el de sentar las bases para un programa de recuperación y reciclaje de residuos en el campus.

Se encontró que en las instalaciones del Campus Mexicali I de la UABC se genera una tonelada diaria de residuos, de éstos más del 65% corresponde a residuos reciclables y potencialmente reciclables, por lo que es viable la puesta en marcha de un programa de separación y reciclaje de residuos.

El estudio también muestra que el mercado local para los residuos reciclables, bajo las condiciones actuales de los tipos de residuos que se comercializan, puede absorber la totalidad de estos residuos. Se discuten algunas alternativas para el caso de los residuos potencialmente reciclables. Finalmente se discuten algunas estrategias que podrían utilizarse para reducir residuos en la fuente.

Palabras clave: Caracterización de residuos, residuos universitarios, potencial de reciclaje

I. INTRODUCCIÓN

Para una toma de decisiones que lleve al manejo adecuado de los residuos sólidos municipales (RSM) es muy importante

conocer la composición y los procesos que determinan la producción de los residuos (Acurio, *et al.*, 1997). Se debe prestar especial atención a las fuentes de generación de residuos ya que las características y la composición de los residuos difieren de acuerdo a su fuente de generación (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Considerando esto, tendrán más éxito las propuestas de manejo de residuos que se basen en el conocimiento de la composición de sus residuos así como también en la situación actual del mercado de los mercados para reciclables que las propuestas muy ambiciosas, copiadas de programas de otros lugares y bajo muy diferentes condiciones. Por esta razón, con el objeto de proponer estrategias de manejo de residuos basadas en la realidad local del generador, se deben conocer tanto las características de los residuos como las del mercado local que absorberá los reciclables.

A pesar de la gran cantidad de beneficios del manejo adecuado de los residuos, el lanzamiento de un nuevo sistema para su manejo no es una tarea sencilla. Strange (2002) menciona que para enfrentar los problemas de manejo de residuos se pueden implementar diferentes estrategias para minimizar los residuos tales como planes y programas, estándares técnicos y regulaciones obligatorias, estrategias financieras (impuestos, incentivos financieros) y estrategias persuasivas (brindar información, relaciones públicas,

sistemas de manejo ambiental, etc). En el caso de México, muchas de estas estrategias han sido usadas para controlar los problemas del manejo de residuos peligrosos pero no han sido usadas para el caso de los RSM.

Como en la mayoría de las ciudades de México, Mexicali los residuos se manipulan mezclados, es decir, no hay segregación de acuerdo al tipo de residuo, excepto en los casos de algunas industrias y comercios, hospitales y otras instalaciones. En el caso de las instituciones de educación superior los residuos se manipulan principalmente de forma no separada. Los servicios municipales de recolección de residuos no se hacen cargo de la recolección y disposición final de los residuos generados en universidades, las mismas instituciones deben pagar a una compañía privada que les brinde el servicio. Tomando esto en consideración, es claro que la reducción de la cantidad de residuos que debe ser transportada y dispuesta en el relleno sanitario tendría dos consecuencias principales: 1) una reducción del gasto institucional destinado a recolección, transporte y disposición final de residuos y 2) ayudaría a prolongar la vida útil de los sitios de disposición final de residuos. Por otro lado, además de los beneficios económicos, una reducción de los residuos institucionales también conllevaría beneficios ambientales y sociales (WWF, 1991).

En México, son las autoridades municipales las responsables del manejo de los RSM, expiden regulaciones en la materia y cuentan con instituciones que están directamente encargadas de brindar el servicio público que consiste en barrido de calles, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos (INE, 1999). De esta forma, el municipio de

Mexicali tiene sus propias estrategias y reglamentos, sin embargo, éstas no incluyen la explotación, valoración, ni reducción de residuos que ayudarían a los generadores a mejorar el manejo de sus residuos.

En octubre del año 2003 se publicó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, la cual entró en vigor en el año 2004. De acuerdo con esta Ley los generadores de residuos están obligados a prevenir su generación, valorarlos y manejarlos de manera integral.

Entre otros aspectos, esta Ley requiere que los generadores hagan una clasificación básica que les permita la estandarización de su inventario así como orientar y fomentar la prevención de la generación, valorar sus residuos y desarrollar sistemas para su manejo integral.

1.1 Manejo de residuos en instituciones de educación superior

Ya que los colegios y universidades tienen la obligación ética y moral de actuar responsablemente hacia el ambiente y la sociedad, se esperaría que estas instituciones fueran líderes en las actividades de protección al ambiente, específicamente para el caso en cuestión, que impulsaran prácticas de manejo responsable de residuos.

El manejo adecuado de residuos debería imponer una doble preocupación para la institución, primero, para maximizar sus recursos económicos destinados a las operaciones, pero sobre todo, para brindar un ejemplo a los estudiantes que se forman en ellas así como también para la sociedad en general

Los programas de reciclaje de instituciones educativas en países desarrollados se iniciaron hace más de 20 años, éstos van desde esfuerzos voluntarios locales a

programas oficiales institucionalizados (Armijo et al., 2003). Algunos de los esfuerzos en universidades enfocados en el reciclaje y en la reducción de residuos han sido muy exitosos

Los programas de reciclaje están entre las iniciativas ambientales más populares, tan solo en los Estados Unidos de América el 80% de los colegios y universidades tienen programas institucionalizados de manejo de residuos (Allen, 1999). Estos programas están basados en los resultados de estudios de caracterización. Un estudio de la composición de residuos desarrollado en Brown University (EUA) reveló que aproximadamente el 45% de los residuos generados en esa institución eran reciclables bajo las condiciones de mercado existentes en el momento del estudio. Brown University tiene un programa de manejo de residuos desde 1972 y actualmente recicla el 31% de sus residuos (Brown Programs, 2004). Por otro lado, Colorado State University y la Universidad de Florida, ambas en EUA, reciclan 54 y 30% de sus residuos respectivamente (UF Sustainability Task Force, 2002).

Existen programas de manejo de residuos sumamente exitosos, entre estos se encuentra el programa de reciclaje de la Universidad de Santa Clara, California (EUA) el cual se acerca a un nivel de reciclaje del 50% (Clugston y Calder, 1999). Como parte de las estrategias de reciclaje algunas universidades tales como Rutgers University y Brown University, entregan sus residuos de alimentos líquidos y sólidos a granjeros locales quienes lo utilizan como alimento para el ganado caprino y porcino (UF Sustainability Task Force, 2002).

Es importante tomar en cuenta que en los EUA es obligatorio que las escuelas y universidades implementen programas de

reducción y reciclaje de residuos. Por ejemplo, el estado de Carolina del Sur, a través de su Acta de Manejo de Residuos Sólidos aprobada en 1991, requirió que todas las instituciones incluyendo escuelas y universidades redujeran sus residuos, midieran la reducción e iniciaran actividades de reciclaje y reportaran anualmente estas actividades (Culler, 2003). Otro ejemplo está dado por el estado de Kentucky, donde, a través de sus actas KRS-224.10-65 y KRS-160.294 los colegios y las universidades están obligadas a reciclar aluminio, papel, y cartón corrugado (KPPC, 2004).

Unos de los pocos artículos en los que se publican resultados de programas de manejo de residuos en universidades de países desarrollados es el de Mbuligwe (2002). Este autor reportó un potencial de recuperación y reutilización de residuos que va del 71 al 87% en tres instituciones de educación superior de Tanzania. Este autor también menciona que, de una manera informal, se practican actividades de reutilización principalmente con los residuos de alimentos, los cuales se entregan a criadores de ganado quienes los utilizan como alimento para animales, práctica que les reduce significativamente el gasto en este rubro.

En México se tiene conocimiento de que en diversas universidades se cuenta con programas de manejo de residuos sólidos - Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey, Instituto Tecnológico Autónomo de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela de Estudios Superiores Zaragoza, y la Universidad de Guadalajara- sin embargo, no se encontraron los publicados datos referentes a la composición de sus residuos o sobre el potencial de recuperación de residuos existente en estas instituciones.

Los únicos resultados publicados de estudios de caracterización realizados en universidades mexicanas son los de Maldonado (2006) quien reportó la composición de los residuos municipales generados en el CINVESTAV-Mérida. El autor menciona que mediante un programa de separación de subproductos, en el año 2003, en esa institución se logró reducir en un 67 % el volumen de la basura enviada al relleno sanitario de la ciudad de Mérida, lo cual representó para la institución un ahorro considerable (Maldonado, 2006).

La falta de más estudios de caracterización en las universidades mexicanas evidencia la necesidad de investigar y documentar la composición de residuos con el objeto de tener los elementos necesarios para proponer maneras mejores de manejar los residuos. En este sentido y en un intento por contribuir a llenar el vacío entre la necesidad de este tipo de estudios y la demanda creciente de programas de manejo de residuos impuestas por las nuevas regulaciones Mexicanas en materia de residuos, el objetivo principal de este estudio fue el de conocer la cantidad, composición y potencial de reciclaje de los residuos generados en uno de los cuatro campos universitarios de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Estos resultados fueron usados como base para la propuesta y puesta en marcha de un programa de manejo de residuos universitarios.

II. MÉTODO

El estudio de los residuos del campus Mexicali I de la UABC consistió en tres etapas principales: 1) estimación de la generación diaria de residuos, 2) muestreo y caracterización de las muestras, y 3) captura de datos y análisis.

2.1 Estimación de la generación diaria de residuos

Ya que en la UABC antes de este estudio nunca se había mantenido un registro de las cantidades de residuos generadas en el campus, esta información tuvo que ser estimada.

La estimación de la generación diaria se hizo con base en el peso de residuos recolectado por la compañía privada que prestaba el servicio a la UABC. Para conocer el peso de los residuos generados en el campus primero fue necesario conocer el peso neto del camión vacío. La diferencia entre el peso del camión lleno y el camión vacío proporcionó el peso de la carga. Posteriormente, en 45 ocasiones diferentes, se pesó el camión lleno con residuos del campus. Esta información se utilizó para calcular el peso promedio de cada carga. Con la información del peso promedio de la carga del camión y el número de veces a la semana que se llenaba el camión con residuos de la UABC, se estimó la generación diaria.

2.2 Muestreo y caracterización de la muestra

La muestra se tomó de tres puntos de generación distintos: 1) edificios académicos y administrativos, 2) jardines y corredores, y 3) centro comunitario (área de tiendas, comedor y cafetería). La caracterización de los residuos se hizo usando la metodología modificada propuesta por Buenrostro-Delgado (2001) para caracterización de residuos domiciliarios. Se tomaron muestras durante catorce días seguidos (excepto domingos); los primeros dos días fueron muestreos de prueba. Esta prueba ayudó a unificar criterios para la toma de datos e identificación de residuos. Los resultados de los residuos analizados durante los

siguientes doce días son los reportados en este artículo. El registro de los datos de la caracterización se hizo en la forma de registro de sub-productos. Esta forma se

construyó con las categorías consideradas por el College and University Recycling Council (CURC, 2001) misma que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Forma de registro de datos de categorías de residuos sólidos.

Codigo _____		Unidad académica o edificio _____	
Peso de la bolsa (gr) _____		Fecha _____	
PAPEL Y CARTÓN (Gr.)	PLÁSTICOS (Gr.)	ORGÁNICOS (Gr.)	
Blanco _____	Contenedores 1* _____	Residuos alimentos _____	
Color _____	Contenedores s 2* _____	Hojas y pasto _____	
Periódico _____	Cont. 3 a 7* _____	Árboles y ramas _____	
Revistas _____	Contenedores S/N _____	Residuos de cosechas _____	
Otros _____	Plástico diverso _____	Orgánico diverso _____	
Cartón _____	Bolsas _____		
	Foam _____		
METALES (Gr.)	VIDRIO (Gr.)	PELIGROSOS (Gr.)	
Latas aluminio _____	Botellas transparentes _____	Limpiadores _____	
Hojalata _____	Botellas verdes _____	Baterías _____	
Metal diverso _____	Botellas ámbar _____	Reactivos _____	
	Otros vidrios _____		
CONSTRUCCIÓN / DEMOLICIÓN	OTROS (Gr.)		
Grava y arena _____	Residuos sanitarios _____	Insecticidas _____	
Rocas _____	Otros (describa) _____	Otros (describa) _____	
Madera _____			
Otros _____			
OBSERVACIONES			

* Se refiere al número que aparece en el símbolo de reciclaje impreso en la botella de plástico.
Contenedores 1 = PET, Contenedores 2 = HDPE, contenedores 3 a 7 el resto de las resinas reciclables.

Se usaron las categorías del CURC mostradas en la Tabla 1 considerando futuras comparaciones con resultados de estudios similares en otras universidades.

2.3 Registro de datos y análisis

Los pesos de cada categoría de residuos fueron registrados en una base de datos. La base de datos se construyó con las categorías y subcategorías mostradas en la Tabla 1. El porcentaje en peso para cada una de las subcategorías fue calculado usando la ecuación 1:

$$PS = \left(\frac{PL}{PT} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

PS = porcentaje de la subcategoría

PL = Cantidad de la subcategoría en kilogramos

PT = Peso total de la muestra en kilogramos

Posterior a la obtención de su peso y para conocer el potencial reciclaje de los residuos, cada subcategoría fue

clasificada de acuerdo a las categorías presentadas en la tabla 2.

Tabla 2 Potencial de reciclaje para las subcategorías de residuos

Sub-categorías de residuos		Potencial de reciclaje**		
		1	2	3
Papel y cartón	Papel bond de color, periódicos, revistas, cartón	ó		
	Otros			ó
Plásticos	Contenedores 1 y 2*	ó		
	Cont. 3 a 7, Bolsas de plástico*		ó	
	Contenedores sin numero, plástico diverso			ó
Orgánicos	Residuos de comida, hojas y pasto, ramas de árboles		ó	
	Orgánico diverso			ó
Metales	Aluminio, hojalata, metal diverso	ó		
Vidrio	Vidrio verde, ámbar y blanco	ó		
	Otros		ó	
Construcción/Demolición	Grava, rocas, Madera y otros		ó	ó
Peligrosos	Baterías		ó	
	Reactivos, Insecticidas			ó
Otros	Residuos sanitarios, otros			ó

*Se refiere al número dentro del símbolo de reciclaje que aparece en los envases de plástico. Contenedores 1 = PET, Contenedores 2 = HDPE, Contenedores 3 a 7 el resto de las resinas reciclables.

Modificado de Ojeda-Benítez, *et al.* 2000. Esta tabla se construyó de acuerdo al mercado local de reciclables en la ciudad de Mexicali.

** 1= Residuos para los que existe un mercado del reciclaje, 2= Residuos reciclables pero para los que no existe mercado local, 3= Residuos no reciclables.

III. RESULTADOS

3.1 Generación diaria de residuos

El peso total estimado para el Campus Mexicali I de la UABC fue de una tonelada por día en promedio considerando los residuos de las tres fuentes de generación analizadas. El peso promedio de una carga completa del camión fue de 1000 Kg. (± 0.15 , $\alpha 95\%$) y se realizó un viaje al relleno sanitario por día con una carga completa de residuos.

3.2 Caracterización de residuos

En total se caracterizaron 4,800 Kg. de residuos, de los cuales 2,567 Kg. correspondieron a las muestras de edificios, 1,360 Kg. a jardines y 238 Kg. al centro comunitario y 673 Kg. de procedencia desconocida ya que las bolsas

no contaban con la identificación de origen.

Tabla 3. Composición porcentual de los residuos sólidos generados en edificios, jardines y centro comunitario de la UABC

Categorías de residuos	Edificios	Jardines	Centro comunitario
Papel y cartón	43.6%	7.5%	23.3%
Plásticos	6.7%	3.0%	8.2%
Orgánicos	10.2%	80.0%	54.1%
Metales	2.5%	0.4%	4.5%
Vidrio	3.6%	1.7%	4.6%
Construcción/demolición	1.8%	0.2%	1.9%
Peligrosos	0.3%	0.2%	0
Otros	31.3%	7.0%	3.4%
Total	100.0%	100.00%	100.00%

Sin embargo esto no quiere decir que 4.8 toneladas haya sido el total de los residuos producidos en doce días de muestreo, sino

que esa fue la cantidad de residuos que fue llevada para su caracterización. Puesto que la estimación diaria fue de una tonelada, entonces aproximadamente se caracterizaron en promedio 0.4 toneladas cada día, esto corresponde al 38.3% de los residuos generados diariamente. Los residuos analizados de las tres fuentes de generación arrojaron los resultados de composición mostrados en la

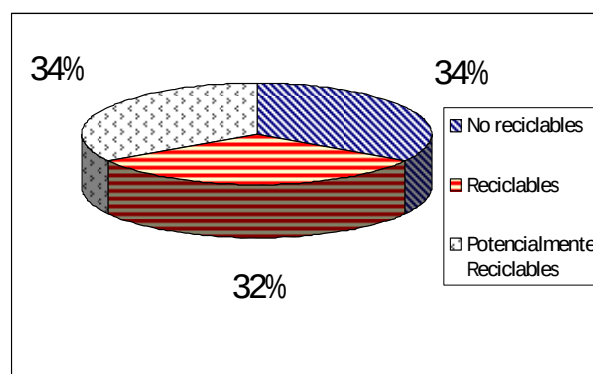
3.3 Potencial de reciclaje de los residuos universitarios

Con base en los resultados de la tabla 3 y en la clasificación de la tabla 2, es evidente que una gran proporción de los residuos generados en la Campus Mexicali I de la UABC pueden ser reciclados o son potencialmente reciclables. Esto se muestra en la Tabla 4, en donde se puede apreciar que del total de residuos producidos en edificios, la categoría de papel y cartón representa el porcentaje más importante (33.02%) de residuos reciclables en la localidad. En el caso de los residuos provenientes de jardines, la proporción más importante está

representada por los residuos potencialmente reciclables (80.12%); este mismo caso se presentó en los residuos del centro comunitario (53.72%).

Para representar más claramente los resultados anteriores, en la Figura 1 se presentan los porcentajes según la categoría de reciclaje. Como se puede apreciar cuando los residuos son analizados en su totalidad, éstos presentan proporciones de reciclaje muy cercanas entre sí.

Figura 1. Porcentajes de residuos según su



categoría de reciclaje

Tabla 4 Porcentaje de residuos reciclables por categoría de residuo

Composición	Edificios			Jardines			Centro comunitario		
	R.	P.R.	N. R.	R.	P.R.	N.R.	R.	P.R.	N.R.
Papel y cartón	33.0	0.0	12.3	4.1	0.0	3.4	12.9	0.4	10.0
Plásticos	3.5	0.5	2.8	1.5	0.3	1.2	4.7	2.7	0.8
Orgánicos	0.0	10.8	0.0	0.00	80.1	0.0	0.0	53.7	0.4
Metal	2.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0
Vidrio	3.6	0.1	0.0	1.6	0.2	0.0	4.6	0.0	0.0
Cons./Demol.	0.0	1.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	1.3	0.6
Res. Sanitarios	0.0	0.0	24.0	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0
Peligrosos	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
Otros	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	3.4
Total	42.3	12.7	45.0	7.6	80.7	11.7	26.7	58.1	15.2

R= Reciclable en la localidad, P.R.= Potencialmente reciclable, N.R.= No reciclable

IV. DISCUSIÓN

La caracterización de los residuos sólidos es el primer paso para planear adecuadamente su manejo integral. El conocimiento de la composición de los residuos permite planear las estrategias de separación, recolección y periodicidad de entrega para su reciclaje.

Los resultados de este estudio evidenciaron dos aspectos importantes: 1) el alto potencial de recuperación de los residuos para su reciclaje, y 2) el reto que implica su manejo integral.

Los residuos de la UABC presentan un alto potencial de recuperación; tanto en el caso de los residuos generados en edificios, como los de jardines y los del centro comunitario. La mayor proporción de los residuos se encuentra dentro de las categorías reciclable y potencialmente reciclable las cuales, en conjunto, representan el 55% para el caso de edificios, 88% para el caso de jardines y 85% para el caso del centro comunitario. A continuación se discuten los resultados por fuente de generación.

4.1 Residuos generados en edificios

De los residuos generados en los edificios administrativos y académicos, la proporción más importante está representada por el papel, con un 43.5%, siendo el 33% de éste el que presenta un potencial de reciclaje. Este porcentaje podría ser mayor si desde su generación el papel no se hubiera mezclado con otros residuos como restos de comida, los cuales contaminan al papel impidiendo su venta a los recicladores.

Es importante hacer notar que además del potencial de reciclaje, residuos tales como el papel, cuentan con un potencial elevado de reducción. Por ejemplo, el papel blanco encontrado en los residuos de la UABC en la mayoría de los casos había sido usado solamente por uno de los lados de la hoja,

lo que muestra que la práctica de reutilización de papel es casi inexistente en la UABC.

Cuando se buscan alternativas de manejo de residuos, antes de considerarse al reciclaje como una opción, deben ponerse en marcha opciones de reducción de residuos. La reutilización es una de esas estrategias y, en el caso de la UABC, si el papel blanco fuera usado, en el mejor de los casos la generación de residuos de papel podría reducirse a la mitad. Aunado a lo anterior, si se fomentaran otras formas de comunicación tales como el uso del formato electrónico, la generación de papel residual se podría reducir aún más.

En algunas universidades de los Estados Unidos de América, para reducir el papel residual, existen campañas para incentivar el reuso de los sobres amarillos, para reutilizar el papel por el lado limpio para elaborar borradores o memorandos y reportes, para usar el correo electrónico como canal principal de distribución de la información, así como para emplear impresoras que imprimen por los dos lados. La mayoría de estas estrategias pueden ser aplicadas inmediatamente y podrían reducir considerablemente el consumo y disposición de papel.

Tomando en cuenta la ausencia actual de estas estrategias en la UABC y considerando las cantidades de papel que se generan en los edificios, se recomienda ubicar depósitos para la separación de papel usado. Estos depósitos deberán estar situados en las oficinas administrativas, principalmente cerca de las áreas de fotocopiado. La colocación de recipientes para papel usado deberá estar acompañada de campañas informativas así como de anuncios o carteles ubicados cerca de los depósitos para papel.

El residuo que ocupó el segundo lugar en generación en edificios fueron los residuos sanitarios. Por su naturaleza, estos residuos no pueden ser reciclados ni reutilizados, sin embargo, se pueden fomentar las estrategias de sensibilización para disminuir el desperdicio de papel sanitario.

4.2 Residuos generados en jardines

En el caso de los jardines, los residuos que tienen una mayor contribución en peso son los residuos orgánicos. Estos residuos estuvieron compuestos principalmente por restos de plantas procedentes de las actividades semanales de poda y corte de césped.

En la actualidad en Mexicali no se cuenta con empresas que reciban de manera ordenada y sistemática este tipo de residuos por lo que éstos fueron considerados como potencialmente reciclables. Sin embargo, son residuos que en la UABC se generan de una manera periódica, ordenada y limpia, ya que se generan en un momento dado (durante la poda) y son depositados en el contenedor por una sola persona (el jardinero que hizo la poda), a diferencia de otros tipos de residuos como el papel que son generados durante todo el día, por diferentes personas y se depositan en diversos contenedores.

La forma en que se generan los residuos orgánicos en jardines facilita la puesta en marcha de cualquier estrategia de reutilización de este tipo de residuos. Por ejemplo, en la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo se propone utilizar los residuos orgánicos en la elaboración de composta en apoyo a programas de reforestación y mantenimiento de las áreas verdes en el campus (Sánchez-Yáñez, *et al.* 2005).

4.3 Residuos generados en el centro comunitario

En el caso de los residuos procedentes del centro comunitario, la mayor contribución fue la de los residuos orgánicos procedentes de los restos de alimentos preparados o de los residuos generados durante su preparación.

Estos residuos se generan durante todo el día y se depositan revueltos junto con los demás residuos en los mismos basureros. Como en el caso de los residuos procedentes de los jardines, no existe en la localidad una compañía que acepte este tipo de residuos, por lo que en la actualidad es prácticamente imposible darle a estos residuos un destino diferente al relleno sanitario.

Sin embargo, no todas las soluciones que se planteen para el manejo apropiado de los residuos generados en las instalaciones universitarias deben provenir de su exterior, el procesamiento de estos residuos puede darse en las mismas instalaciones. Una práctica común de algunas universidades, para usar los residuos orgánicos procedentes de sus jardines y de las áreas de comedores, es hacer composta, ya sea en el campus universitario o fuera de éste. Por ejemplo, en el Ithaca College, en los EUA se utilizan semanalmente 5 toneladas de residuos de alimentos para hacer composta, lo cual representa aproximadamente de un 13 a un 15% del total de sus residuos (REMP, 2003). La Appalachian State University, también en los EUA, emplea los residuos de alimentos en un sistema de composteo que utiliza cerca de dos toneladas cada año (N.C. Project, Green, 2004). Siguiendo estos ejemplos, y considerando que la UABC cuenta con espacios adecuados y personal capacitado,

en esta institución se podría implementar un sistema de composteo que diera uso, tanto a los residuos procedentes de los jardines, como a los procedentes del centro comunitario.

Otros estudios sobre residuos universitarios han demostrado un aprovechamiento importante de los mismos en instituciones educativas. En un estudio publicado por Mbuligwe (2002) sobre el manejo de residuos en tres instituciones de Tanzania, se encontraron resultados similares a los de este estudio, reportándose para esos casos un potencial de recuperación y reutilización de los residuos que van del 71.6% al 86.8%. El autor no menciona la situación del mercado de los reciclables en Tanzania, sin embargo, menciona que de manera informal se tienen en práctica actividades de reutilización, principalmente de los residuos de alimentos que se entregan a criadores de puercos, quienes utilizan estos residuos como alimento de los animales, reduciendo significativamente los gastos de alimentación de los mismos. En el caso de los residuos orgánicos de la UABC, podrían iniciarse prácticas como la reportada por Mbuligwe (2002) en Tanzania.

Considerando que en los suburbios de Mexicali y en su Valle se cuenta con numerosas granjas donde se crían cabras, puercos y vacas, es posible considerar entonces que estos lugares puedan ser potenciales consumidores de los residuos de alimentos que se producen en el centro comunitario en el Campus Mexicali I de la UABC. El aprovechamiento de los residuos está previsto dentro de las regulaciones Mexicanas en materia de manejo de residuos, siempre que se cuente con los permisos correspondientes por parte de los receptores. Cabe mencionar que este tipo de prácticas también se llevan a cabo en

universidades de países desarrollados, por ejemplo, en Rutgers University y en Brown University en los EUA los residuos de alimentos tanto sólidos como líquidos son entregados a granjeros locales para la engorda de ganado vacuno y porcino (UF Sustainability Task Force, 2002).

En los países desarrollados, los programas de recuperación de residuos para su reciclaje iniciaron en las Universidades hace 20 años y, en algunos casos, hace más tiempo aún. Un estudio de composición de los residuos, llevado a cabo en Brown University (USA) realizado en 1992, reveló que aproximadamente el 45% de los residuos generados en esta institución, eran reciclables. Brown University cuenta con un programa de reciclaje desde 1972 y en la actualidad recicla el 31% de sus residuos (Brown Programs, 2004). Otro ejemplo es el brindado por Colorado State University y University of Florida las cuales reciclan el 54% y el 30% de sus residuos, respectivamente (UF Sustainability Task Force, 2002).

Se debe considerar que en los Estados Unidos de Norteamérica es obligatorio para las escuelas y universidades contar con programas de reducción y reciclaje de residuos. Por ejemplo, Culler (2003) reporta que el estado de Carolina del Sur, a través de su Acta de Manejo de Residuos Sólidos aprobada en 1991, requiere que todas las agencias, así como colegios y universidades reduzcan sus residuos, midan esa reducción, que pongan en marcha actividades de reciclaje y que reporten anualmente estas actividades. Otro ejemplo lo aporta el caso de Kentucky, en donde a través de las Actas KRS-224.10-65 y KRS-160.294, se obliga a colegios y universidades a reciclar aluminio, papel y cartón corrugado (KPPC, 2004).

Tomando en consideración la información del párrafo anterior, se hace evidente que, aunque el potencial de recuperación y reciclaje de los residuos de la UABC sea muy elevado, esto no quiere decir que en la práctica sea sencillo lograr un aprovechamiento total de ese potencial. En los casos presentados de las universidades de los EUA han pasado muchos años desde las primeras experiencias en este tema. Aunado a esto, desde inicios de los años 1990's, en ese país se han expedido una serie de políticas y programas que guían e incentivan la puesta en marcha de programas de reducción y reciclaje de residuos en las instituciones de educación superior.

En México el caso es diferente, sin embargo, con los acontecimientos recientes en materia de regulación y políticas de manejo de residuos (nueva ley), se espera que se establezcan los cimientos para un manejo integral de residuos. De los escasos reportes sobre manejo de residuos en universidades y centros de investigación mexicanos es importante mencionar el caso publicado por Maldonado (2006) en donde menciona que de los residuos generados en el CINVESTAV-Mérida, se ha logrado reducir en un 67% el volumen de residuos a través de un programa de manejo. Este ejemplo da testimonio del importante impacto que este tipo de programas puede llegar a tener.

Aunque la nueva Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos será flexible en su aplicación, de acuerdo al tipo de generador de que se trate, es clara en cuanto a la obligatoriedad de Planes de Manejo Integral de residuos que contemplen programas de reducción y reciclaje. Por esto, ahora más que nunca, resulta conveniente contar con información y

conocimientos de la dimensión del problema para poner en marcha planes de acción.

Independientemente de las presiones ambientales legales, las universidades no pueden darse el lujo de ignorar los problemas ambientales asociados a sus operaciones, el caso de los residuos sólidos es uno de ellos. Los programas de manejo integral de residuos en instituciones educativas mostrarán a la comunidad como con prácticas sencillas pero constantes y organizadas se puede dar alivio a los problemas generados por el manejo inadecuado de desechos sólidos. Este tipo de ejemplos podrían crear un efecto sinérgico mediante el cual cada vez sectores más amplios de la población pongan en marcha programas de manejo de residuos.

En lo referente a la temporada en la que se tomó la muestra de residuos analizada de este estudio, diversos autores (Buenrostro-Delgado, 2001; Shah, 2000; INE, 1999) han reportado que existe una variabilidad estacional en la composición y en la cantidad (aumentando la generación en los meses cálidos) de los residuos sólidos municipales. Los residuos analizados en el presente estudio fueron generados en una universidad, sin embargo, se podría asumir que a lo largo del año deben presentar variaciones parecidas a las reportadas para los residuos sólidos municipales. Esto se supone porque, aunque las actividades académicas y administrativas son las mismas a lo largo del año en el Campus (excepto en los tiempos de vacaciones), en Mexicali existe una marcada diferencia entre las temperaturas de verano y las de invierno, llegando a haber una diferencia en las temperaturas de hasta 35°C o más entre una estación y otra, lográndose a alcanzar

temperaturas de 50°C en los meses de julio y agosto.

En la temporada cálida del año se consume una mayor cantidad de bebidas refrescantes y agua embotellada, lo que implica una mayor generación de residuos de los envases que los contienen. Por otro lado, la poda de árboles y pasto es más intensiva durante los meses de mayo a agosto, lo que representa una mayor generación de residuos provenientes de jardines. Se cree que, de realizarse el muestreo en otra época del año, las proporciones de los residuos cambiarán, por lo que si se desea conocer el comportamiento de cada una de las categorías a lo largo del año al menos deberá realizarse un muestreo en cada época. El estudio que aquí se reporta se realizó en el mes de octubre, por lo tanto, los resultados de la caracterización son válidos solamente para el tiempo en que fue hecho el estudio o para los meses en los que las condiciones climáticas son similares.

Por último, en lo referente a la toma de la muestra, una manera más sencilla habría sido mediante el método del cuarteo propuesto por la Norma Mexicana NMX-AA-015-1985 (SECOFI, 1985). La metodología propuesta por esta norma consiste en tomar para su análisis del sitio de disposición de residuos, la cuarta parte de los residuos producidos en un día. Si se hubiera hecho de esta manera, se tendrían que haber abierto todas las bolsas con residuos, homogeneizar la muestra con palas y de ahí tomar la muestra y trasladarla al sitio de análisis de las mismas, o bien, trabajarla en el sitio de disposición final, lo cual a su vez hubiera implicado problemas para el análisis de las muestras ya que ese sitio no cuenta con las facilidades para el análisis.

Sin embargo, el método del cuarteo hubiera asegurado que la totalidad de los residuos producidos en un día fueran muestreados. Por ende, se recomienda usar este método para estudios de caracterización en el resto de los Campus de la UABC.

V. CONCLUSIONES

- La generación diaria de residuos sólidos del campus Mexicali I de la UABC es de una tonelada.
- Los residuos de la UABC presentan un gran potencial de aprovechamiento. La mayor proporción de los residuos se encuentra dentro de las categorías reciclable y potencialmente reciclable las cuales, en conjunto, representan el:
 - o 55% para el caso de edificios,
 - o 88% para el caso de jardines y
 - o 85% para el caso del centro comunitario.
- El mercado local de los reciclables puede absorber la porción de los residuos catalogados como reciclables.
- La porción en la categoría de potencialmente reciclables podría tener una salida diferente a la disposición en rellenos sanitarios, se discutió la posibilidad de la entrega de residuos de alimentos a criadores de ganado y la de elaboración de composta con el resto de los residuos orgánicos.
- Deberán usarse diferentes estrategias de separación en cada zona generadora para optimizar la separación de reciclables.

REFERENCIAS

- Brown University, 2004. Brown Recycling Program. Brown is Green. http://www.brown.edu/Departments/Brown_Is_Green/waste/recysum.html Fecha de consulta: 4/Mayo/2006
- Buenrostro-Delgado, O., 2001. Los Residuos Sólidos Municipales: perspectivas desde la investigación multidisciplinaria. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Culler, W. W., 2003. State Agencies, Colleges and Universities Waste Reduction, Recycling and Buy Recycled. Fiscal Year 2002 Annual Report. S.C. Department of Health and Environmental Control. Office of Solid Waste Reduction and Recycling. South Carolina, USA.
- CURC, College and University Recycling Council, 2001. <http://www.nrc-recycle.org/councils/CURC/default.htm>.mFecha de consulta: 10/Abril/2005
- KPPC, Kentucky Pollution Prevention Center, 2004. <http://www.kppc.org/spotlight/universities.cfm#1>. Fecha de consulta: 12/Marzo/2005
- Maldonado L., 2006. Reducción y reciclaje de residuos sólidos urbanos en centros de educación superior: Estudio de caso. Revista Ingeniería, 10-1, pp. 59-68.
- Mbuligwe, S. E., 2002. Institutional solid waste management practices in developing countries: a case study of three academia institutions in Tanzania. Resources, Conservation and Recycling 35 (3): 131-146.
- INE, 1999. Minimización y Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, México.
- N.C. Project Green. (2004). Appalachian State University Environmental Sustainability Report. <http://www.p2pays.org/ref/07/06568/2001/nframe.asp?page=UNV-AppStatehome.htm>. Fecha de consulta: 10/Abril/2005
- Ojeda-Benítez, S., Armijo de Vega, C. y Ramírez-Barreto, M. E., 2000. The potential for Recycling Household Waste: A Case Study from Mexicali, Mexico. Environment and Urbanization, 12 (2): 163-173.
- REMP, 2003. Resource and Environmental Management Program. Ithaca College, USA. <http://www.ithaca.edu/rempl/> . Fecha de consulta: 20/Mayo/2006.
- Sánchez-Yáñez, J.M., Carrillo-Amezcu J.C., Manzo Z. F. y Leal-Lozano L., 2005. Una propuesta de gestión integral de residuos sólidos en el campus de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México. <http://www.monografias.com/trabajos33/gestion-residuos/gestion-residuos.shtml>. Fecha de consulta: 15/Septiembre/2006.
- SECOFI, 1985. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de protección al Ambiente. Contaminación del Suelo. México.
- SEMARNAT, 2003. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación. 8 de octubre de 2003. México.
- Shah, K.L., 2000. Basics of Solid and Hazardous Waste Management Technology. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Strange, K., 2002. Overview of Waste Management Options: Their Efficacy and Acceptability. En: Environmental and Health Impact of Solid Waste Management Activities, 1-52. R.E. Hester y R.M. Harrison (Editores). Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, Cambridge.
- UF (University of Florida) Sustainability Task Force, 2002. Final Report. UF Office of Sustainability., USA. www.sustainable.ufl.edu. Fecha de consulta: 22/Mayo/2006.
- WWF, 1991. Getting at the source: Strategies for reducing municipal solid waste. Island Press, Washington, D.C.

Diagnóstico, evaluación y propuesta de gestión al sistema de manejo de los residuos sólidos generados dentro de un área natural protegida

Luis Armando Lozoya Márquez, Cristina Elizabeth Vélez Sánchez-Verín, Dolores Elizabeth Turcott Cervantes, Germán Cuevas Rodríguez

Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. (CIMAV), Universidad Autónoma de Chihuahua,
Universidad de Guanajuato

Miguel de Cervantes #120, Complejo Industrial Chihuahua C.P. 31109; Chihuahua, México
e-mail: luis.lozoya@gmail.com, german28@quijote.ugto.mx

Resumen

El presente estudio tuvo lugar en el "Área De Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena", un área natural protegida ubicada en el estado de Chihuahua en la frontera de México con Estados Unidos. El universo estudiado lo constituyeron los residuos sólidos generados por las pequeñas comunidades rurales situadas dentro del área con el propósito de identificar las problemáticas a ser subsanadas y contemplando, para tal fin, las siguientes etapas de trabajo: (1) la aplicación de encuestas dirigidas a los diferentes tipos de generadores; (2) la realización de estudios de caracterización sobre los residuos; y (3) la evaluación técnica-normativa de los subsistemas funcionales que intervienen en el manejo. Los resultados revelaron las prácticas, usos y costumbres que existen alrededor de la temática, así como las principales necesidades en el ciclo de manejo de los residuos sólidos, además de los parámetros residuales básicos de la zona (generación, densidad y composición). Con el análisis e interacción de estos datos, se realizaron las evaluaciones correspondientes que llevaron a determinar las pautas generales de gestión ambiental que deben ser consideradas para evitar el impacto directo de los residuos sobre este ecosistema de gran importancia biológica, política, estética e histórica-cultural.

Abstract

The present study took place in the "Área De Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena", a protected natural reservation located in the state of Chihuahua in the frontier of Mexico with the United States. The studied universe the they constituted the solid wastes generated by the small rural communities located inside the area with the purpose of identifying the problems to be corrected and contemplating, for obtain the objective, the following work stages: (1) the application of surveys directed to the different types of generators; (2) the realization of studies of characterization on the wastes; and (3) the technique-normative evaluation of the functional subsystems that they intervene in the management. The results revealed the practices, uses and customs that exist around the thematic, as well as the main necessities in the cycle of management of the solid wastes, besides the basic residual parameters of the area (generation, density and composition). With the analysis and interaction of these data, they were carried out the corresponding evaluations that took to determine the general rules of environmental administration that should be considered to avoid the direct impact of the wastes on this ecosystem of great biological, politics, aesthetics and historic-cultural importance.

Palabras Clave – Área Natural Protegida, Protección de Flora y Fauna, Residuo Sólido, Gestión ambiental

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

El Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena - APFFCSE se encuentra ubicada en la parte noreste del estado de Chihuahua aproximadamente a 300 km de la ciudad capital, en una zona comprendida por los municipios de Manuel Benavides y Ojinaga, abarcando una extensión de 277,209 ha. Se localiza a una latitud norte 29° 02' y con una longitud oeste de 103° 38', con una altitud de 1,020 metros sobre el nivel del mar.

Su decreto presidencial, en el año de 1994, tuvo lugar con la prerrogativa por parte de gobierno del estado de contar con una zona representativa del bioma conocido como "desierto chihuahuense" y que esta funcionara como contraparte de las áreas protegidas fronterizas del estado de Texas en la unión americana (El parque nacional americano conocido como "Big Bend"), y que de esta manera se ampliara la protección de los ecosistemas realizando, entre ambos países, acciones conjuntas en materia ecológica.

Así que la importancia del área se ve reflejada no solo en la política internacional, por su relación cercana con el vecino país del norte; si no también por la riqueza ecológica y biológica que presenta; siendo que en el sitio se contrastan varios ecosistemas, entre el desierto propiamente dicho y el bosque de clima templado-frío, además de albergar en ellos 79 especies con estatus de protección (13 de flora, en su mayoría cactáceas, y 66 de fauna). Aunado a esto, la conjunción de paisajes y ambientes, sencillamente espectaculares, otorga al lugar

una importancia estética considerable. En cuanto al turismo, los recursos que allí se conservan constituyen la mejor reserva para que esta actividad sea auto-sostenible en el tiempo y el espacio. Sin embargo en esta zona, como en la mayoría de las áreas naturales protegidas de México y Latinoamérica, el componente humano, que se encuentra presente mucho antes de que el área fuera declarada como protegida, esta impactando directamente sobre estos recursos.

En lo que al manejo de los residuos sólidos se refiere, la situación ha sido una de las más difíciles de resolver ya que la zona se caracteriza por poseer pequeños asentamientos humanos que realizan una disposición inadecuada de sus residuos en virtud de su aislamiento, nivel socio-económico, falta de interés político, cultura y problemas de comunicación. Esta problemática se ve propiciada principalmente por la situación que se vive a nivel rural en el país, como la insuficiencia de recursos, la falta de información técnica y la escasa educación ambiental

Lo cierto, es que aunque una pequeña comunidad nunca producirá el nivel de contaminación que podría ocasionar un mal manejo de los residuos sólidos en las grandes urbes, aquí el problema radica en la importancia de la zona, siendo que en este sector existen un gran número de contaminadores con una baja densidad poblacional, una concentración sobre regiones determinadas y (en el caso del norte del país) distancias grandes entre comunidades pequeñas que dificultan el manejo conjunto de los residuos sólidos por el consecuente aumento en los costos de transporte, lo cual, aunado a

la falta de gestión genera un fuerte impacto ambiental a nivel local.

Esta zona es una de las pocas que cuenta con un programa de manejo por el que se decreto su estatus, sin embargo, aunque este documento contempla ciertos aspectos de impacto por parte de la población a los ecosistemas y su correspondiente minimización, deja fuera el aspecto de los residuos sólidos generados en la zona. Esto ha propiciado que los aspectos como la disposición final de los residuos no hallan sido contemplados en las acciones de rescate ecológico y que consecuentemente, por la incesante demanda de espacio para disponerlos o deshacerse de ellos, esto se fuera agravando.

Como un área natural protegida su importancia, sin duda alguna, radica en su gran potencial como sitio de protección y preservación de los recursos naturales. Y para asegurar este ultimo objetivo, esta investigación se centra en buscar soluciones en base a la generación de información, planteando la necesidad de estudiar alternativas que surjan del conocimiento de las características cuantitativas y cualitativas de los residuos sólidos municipales producidos en estas zonas, de modo que a futuro se diseñen sistemas de gestión que minimicen al máximo los impactos ambientales y tomen en consideración la situación específica en lo referente al aspecto socioeconómico, ambiental y político de la región.

1.2 Marco contextual de estudio

La zona bajo protección alberga a alrededor de trece pequeños asentamientos humanos situados entre dos municipios (Manuel Benavides y Ojinaga, ambos municipios fronterizos), siendo la población total aproximada

de estas comunidades de 1,699 habitantes (INEGI, 2000).

Entre estos asentamientos solo la comunidad con mayor población, la cabecera municipal de Manuel Benavides (del mismo nombre) con 877 hab, posee un sistema de manejo de residuos no del todo acorde con los principios ambientales. En el resto de las comunidades se carece del servicio brindado por gobierno municipal y los habitantes, de manera independiente y sin ninguna asesoría toman bajo su responsabilidad dicha actividad. Así pues el manejo que se hace en el sitio por parte del generador y el responsable del manejo resulta preocupante

II. RESULTADOS

1.3 Encuesta de opinión publica

Por medio de este recurso se demostró que la sociedad mantiene una relación alta con aspectos relacionados con el manejo de los residuos sólidos, siendo que el interés fehaciente en la temática por parte del poblador se ve impulsado por dos factores primordiales: el primero de ellos lo constituye la economía, ya que si bien el 83% de los encuestados manifiesta estar a favor del reciclaje, esta postura se ve impulsada por una remuneración de algún tipo (53% lo haría por una paga); el segundo es la escasez de bienes y productos, ya que se encontró que el 91% de la gente encuestada recurre al rescate de materiales residuales para suplir algún producto faltante (ej: maceteros, contenedores, artesanías, etc.). Además, cierto porcentaje de los habitantes del área carecen del servicio de recolección por lo cual participan activamente en el manejo que se les da a sus residuos.

En cuanto a sus hábitos de almacenamiento y disposición final de los residuos, lo mas importante a destacar es que la mayoría de los habitantes recurre a la práctica inadecuada de la quema de los residuos (el 33% de los casos, en comunidades con servicio de recolección, y el 87% en las que carecen de el), dejando de lado el manejo organizado y planeado, considerando como rutinaria la practica de eliminar los residuos por medio de las quemas incontroladas que lo mismo suceden en el traspatio dentro del contenedor de los residuos, como en los tiraderos incontrolados ubicados en las periferias de las poblaciones y/o en el unico basurero oficial que es manejado por el municipio de Manuel Benavides.

1.4 Estudio de caracterización

El periodo de muestreo tomo 4 semanas, donde se analizo una muestra total de casi 2 toneladas proveniente de 225 generadores (88% fueron domicilios y el resto generadores no domiciliarios) distribuidos a lo largo de 4 comunidades consideradas como representativas de las 13 existentes en el area.

Durante el muestreo se lograron recolectar 1,575 muestras, sobre las cuales se aplicaron las determinaciones de la generación por la unidad de interés de cada uno de lo estratos contemplados en el muestreo que se muestra en la Tabla 1. Encontrándose que en el nivel atípico la variación entre los pesos registrados por local fue grande, estando el rango de valores de entre los 0.071 hasta los 8.871 kg/día-punto; mientras que en el nivel domiciliar la variación se mantuvo prácticamente homogénea hiendo de los 0.071 a los 2.071 kg/día-persona, situando al 69% de los participantes en el rango com-

prendido entre los 0.071 a los 0.471 kg/día-persona.

Tabla 1. Generaciones por unidad (kg/día)

Muestreo ⁽¹⁾		Generación per cápita
Domiciliar	A	0.385
	B	0.360
	C	0.389
	D	0.435
Promedio domiciliar		0.384
Sector muestreado		Generación por unidad
Atípico	Comercial	1.893
	Servicios	1.210
	Institucional	0.067 ⁽²⁾
GPC neta:		0.491 kg/día-hab ⁽³⁾

NOTAS: ¹ Las comunidades muestreadas fueron: A. Manuel Benavides, B. Álamos de San Antonio, C. Paso de San Antonio y D. Nuevo Lajitas
² Se representa en Kg/día- alumno, el resto se toma por local
³ Generación per cápita neta, representa la contribución extra correspondiente a cada habitante por parte de los residuos domiciliarios generados en puntos atípicos

Las determinaciones de densidad se obtuvieron de un total de 49 mediciones, encontrándose como el valor mas bajo de 48.52 kg/m³ mientras que el más alto alcanzo los 116.44 kg/m³ siendo el valor promedio de 79.851 kg/m³.

La Tabla 2 presenta la composición de los residuos en las comunidades estudiadas durante el periodo de muestreo. En la misma puede apreciarse que los principales grupos de subproductos encontrados lo constituyen: (1) los residuos alimenticios con un 22.4%, (2) los plásticos rígidos (botellas y recipientes principalmente) con un 13.6%, (3) el cartón con un 10.79% (resultado del desecho de empaques y embalajes), (4) los residuos de jardín con un 7.74% y, por ultimo, (5) los plásticos delgados con un 5.88%.

Tabla 2. Constitución de los residuos en las muestras

Tipos de residuos	Peso (kg)	Porcentaje de residuos (%)			
		Sometidos a disposición	Reaprovechables		
			Tratable	Reciclable	Composteable
ORGÁNICOS DE FÁCIL DEGRADACIÓN					
Residuos alimenticios	364.2				22.40%
Residuos de Jardinería	125.8				7.74%
ORGÁNICOS DE DIFÍCIL DEGRADACIÓN					
Papel	77.7		4.78%		
Cartón	175.4			10.79%	
Cuero	9.6		0.59%		
Madera	10.1				0.62%
INORGÁNICOS					
Residuo fino	63.1		3.88%		
Cartón encerado	12.3	0.76%			
Lata	81.1			4.99%	
Loza y cerámica	3.6	0.22%			
Material de construcción	7.9		0.49%		
Material Ferroso	5.7			0.35%	
Material No Ferroso	0.2		0.01%		
Pañal desechable	34.0	2.09%			
Plástico delgado	95.5	5.88%			
Plástico rígido	221.7			13.6%	
Poliestireno	17.0	1.04%			
Textiles	96.9		5.96%		
Vidrio de color	55.1			3.39%	
Vidrio transparente	76.3			4.69%	
Otros	91.8		5.64%		
TOTAL	1,625	9.99%	32.14%	27.06%	30.76%

Del total de los residuos producidos en estas comunidades solo el 10% de los residuos debería estar sujeto a disposición final, mientras que el resto de los residuos pueden ser composteables, tratables o sujetos a acopio para un posterior tratamiento de reciclaje.

La producción total de residuos sólidos urbanos, tomando en cuenta la población de todas las comunidades dentro del APFFCSE, se estimó en cerca de 323.2 toneladas anuales, correspondiendo al estrato domiciliario el 77% de la generación y al estrato atípico el

resto (el 23%). Asimismo, se calculó la cantidad de residuos sólidos correspondiente a los municipios involucrados, encontrándose que por parte de Manuel Benavides existe una contribución del 80.5% (siendo la comunidad con mayor aportación a la generación total de residuos dentro del área la cabecera de este municipio con un 52.6%); y por parte de Ojinaga del 18.5% (60 toneladas anuales).

El comportamiento futuro de la producción de residuos a 25 años se muestra en la

Figura 1, donde puede apreciarse que, si bien la generación anual no sufre un aumento radical (se mantiene bajo las 2 mil toneladas), la producción acumulada (sujeta a

disposición final o a reaprovechamiento) sufre de un aumento exponencial; prácticamente duplicándose la generación per cápita.

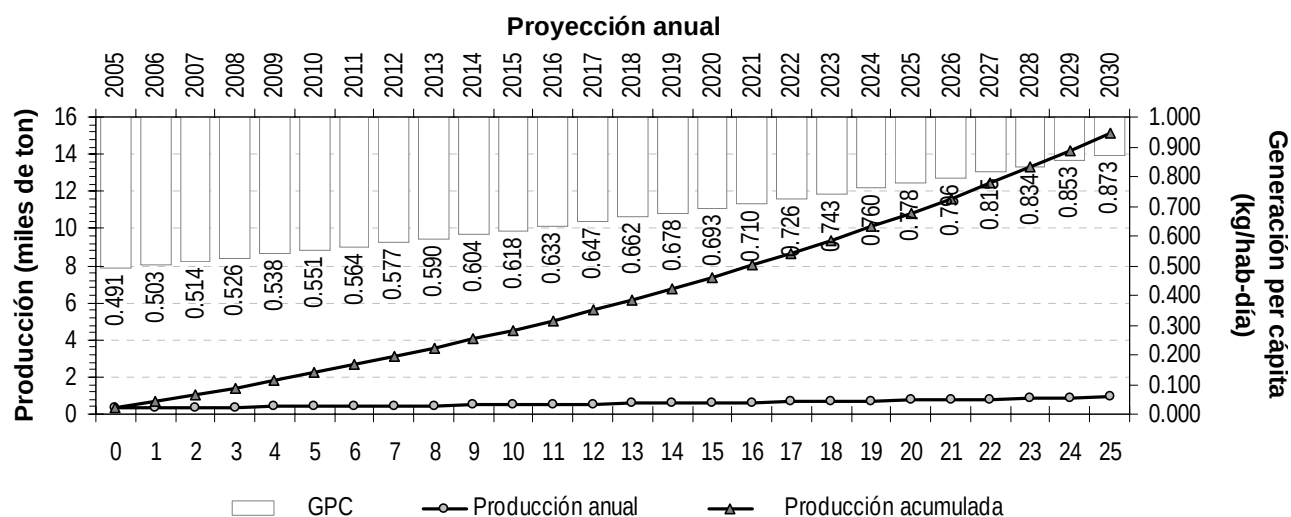


Figura 1. Resultados del análisis prospectivo en una proyección de la generación correspondiente a las comunidades en el APFFCSE

1.5 Diagnóstico técnico del estado en el manejo actual

De manera general, el manejo actual de los residuos generados en el APFFCSE resulta altamente deficiente atendiendo contra la salud pública y el medio ambiente, siendo este ultimo de especial importancia por la categoría que posee el territorio. Las unidades activas de manejo de residuos sólidos en el área son: la recolección (solo en la comunidad de Manuel Benavides), el almacenamiento y la disposición final.

En cuanto a los sistemas de limpia se refiere, municipales de Manuel Benavides y Ojinaga brindan el servicio a sus cabeceras municipales, encargándose de los residuos sólidos producidos tanto en el nivel domiciliario como en el atípico aunque en el resto de las pequeñas comunidades del área el manejo de los residuos sólidos en sus etapas

de almacenamiento, recolección y disposición final se lleva a cabo por los mismos generadores no siendo con esto más adecuado que el brindado por los gobiernos municipales.

Se observó que los habitantes si no optan por la quema incorrecta de los residuos, realizan una disposición inadecuada de sus residuos en zonas aledañas a sus casas o en las cercanías de sus comunidades, siendo los cauces de los ríos y arroyos (en la mayoría de los casos) el sitio elegido para depositar toda clase de desperdicios, multiplicando con esto el impacto de los tiraderos y micro-basurales sobre toda la franja que delimita cada uno de los asentamientos.

La disposición en el basurero a cargo del gobierno municipal de Manuel Benavides resulta inadecuada por no estar acorde con los requerimientos que establece la NOM-

083-SEMARNAT-2003; de esta manera, en el sitio se depositan toda clase de residuos (por no tener control a la entrada) y no se aplica cobertura alguna. En su diseño no se contempló la impermeabilización previa del sitio y aunque cuenta con el cercado total se carece de caseta de vigilancia y control lo cual no garantiza que no exista acceso de animales, por otra parte el control a la fauna nociva es inexistente, además de que el hecho de que al acumularse la materia residual se queme con el fin de disminuir su volumen, lo que clasifica a este sitio como un tiradero “oficial” a cielo abierto.

No existen tratamientos de los residuos en el sitio ni cultura de acopio, limitando el aprovechamiento a residuos de alto valor comercial (como son el aluminio) y los residuos de alimentos.

1.6 Propuesta de gestión

Con base a los estudios realizados se definió que el objetivo debe ser mantener la integridad ambiental del área controlando la actual generación de residuos; esto supone evitar, el incremento previsto en los estudios prospectivos de este trabajo; incorporando la remediación y rehabilitación de los sitios.

El orden en la gestión se establecerá Para esto se trabajara los siguientes mecanismos de control:

- Acciones de vigilancia y monitoreo
- Programas operativos, del servicio de limpia y del ejercicio disposición final.
- Planes de manejo a residuos específicos de una alta generación y un difícil manejo.

- Creación de reglamentos específicos, que establezcan sanciones y restricciones.

Se consideran dentro del plan de gestión integral el desarrollo de los siguientes programas:

- **Programa de educación ambiental.** Orientado a formar conciencia preventiva y correctiva.
- **Programa de capacitación.** Capacitación y asesorías dirigidas al responsable del manejo y/o la gente interesada.
- **Programa de rescate de materiales.** Se integraran actividades de compostaje de y el rehúso de materiales.
- **Programa de acopio de reciclables.** Activación del mercado y acopio de los materiales plásticos, metálicos y celulósicos de manera regional (Cóyame, Manuel Benavides y Ojinaga)
- **Programa tarifa diferenciada.** Bajo el principio del “que contamina paga” se cobrara el servicio en función al costo propone el cobro que implica a municipio, con el fin de financiar su sustentabilidad.

Resulta necesario que se creen indicadores del buen funcionamiento del sistema de gestión, pudiendo ser alguno de los utilizados como resultado en este trabajo, como la producción neta per cápita (PNCP) y el número tiraderos a cielo abierto en el ANP (NTCA).

Además con la documentación y la captura de información en el desarrollo e implementación del sistema de gestión, se pueden establecer como indicadores la cantidad de

residuos sólidos dispuestos sanitariamente (CRDS), así como la cuantificación y tipificación de los residuos reciclados (CTRR).

III. DISCUSIÓN

En la actualidad aunque cualitativamente el indicador de reutilización de materiales es alto (en el 91% de los hogares reutilizan materiales), cuantitativamente la actividad no resulta tan atractiva, principalmente por el uso “caduco” y un tanto limitado que se les da a estos materiales ante la imposibilidad de no contar con los medios para transformarlos completamente.

Se observo que la gente del área realiza el acopio de materiales y la reutilización con fines, más que ambientalistas, de economía; lo cual podría resultar contraproducente en la instalación de un programa de acopio por las cantidades relativamente pequeñas con respecto a otras poblaciones humanas de mayor tamaño donde es más rentable para los privados dicha actividad. Para solucionar esto debe presentarse un cambio de actitud en el que se inculque que el principio de reciclaje es beneficioso para todos independientemente del criterio económico que rige estas situaciones.

En cuanto a los valores de generación se refiere, el comportamiento registrado en la Tabla 1 no se considera erróneo en el muestreo partiendo de la siguiente consideración: los valores más altos en las comunidades rurales suceden debido a que los residuos contienen materiales típicos de las actividades desarrolladas en esta zona, la literatura al respecto (Alegre *et al.* 2000) cita que estos pueden ser estiércol de animales de granja (por estar presentes en el ámbito doméstico) o tierra (por carecer de pavi-

mentación, banquetas y demás infraestructura de semejanza que se presenta típicamente en zonas con un índice urbano mayor). En este caso en particular se presentaron otro tipo de materiales que variaron las mediciones en extremo. Además, en el ámbito rural, la generación aproximada para países latinoamericanos está entre los 0.400 y los 0.800 kg/día-hab, por lo cual todos los datos obtenidos se consideran correctos por estar en la parte baja dentro de este rango. En cuanto a la aportación porcentual de la producción total por parte del sector atípico coincide exactamente con lo que muestra la literatura con respecto a las generaciones por parte de las diferentes fuentes (el 27%) (SEMARNAT *et al.*, 1997).

Resulta interesante que dentro de los 5 subproductos de mayor presencia en los residuos del área, estén los potencialmente composteables pero de gran densidad con un 30.14% (residuos de alimentos y de jardín), y aquellos de gran volumen y una muy baja densidad, como fueron los plásticos (delgados y rígidos, con un 19.48%) y el cartón que en conjunto alcanzan los 30.27%. De acuerdo con estos resultados estos residuos prácticamente están a la par y esto es muy importante siendo que los materiales voluminosos representados por el cartón y el plástico con una muy baja densidad (principalmente en el último) implican un gran volumen para un poco de peso, y es aquí donde se explican los resultados de las mediciones resultantes del peso volumétrico, donde el valor promedio encontrado de 79.851 kg/m³ es bastante bajo en comparación con la media nacional que se encuentra entre los 170 y 330 kg/m³ (Cervera y Rosiles, 1994).

También se hace la mención a la proyección de la Tabla 2 de los materiales clasificados como reaprovechables y se recalca que estas cantidades son solo potenciales, aclarando que ninguno de estos componentes serán recuperables al 100%, principalmente por limitaciones en los aspectos de manejo, por lo que tenderán a variar, disminuyendo generalmente.

Haciendo uso de la proyección anual de la generación dentro del área por parte de las poblaciones, podríamos suponer que la mitad de estos residuos serán generados por la cabecera municipal de Manuel Benavides, con una tendencia a que posiblemente represente más del 50% de la generación total de residuos, ya que las condiciones locales indican que el desarrollo urbano de esta comunidad aumentará y con esto también aumente la generación per capita de residuos a un ritmo mas grande de lo aquí considerado. Sin embargo para efectos de planeación esta cantidad puede funcionar como una estimación de las condiciones que se deben tener para dar un correcto manejo a esta. De igual manera se podría predecir que, de acuerdo a la tendencia observada, las comunidades más pequeñas (con posibles excepciones) tenderán a desaparecer emigrado la población existente muy posiblemente hacia Manuel Benavides y hacia Ojinaga.

Lo mas critico de este manejo, independientemente del resto de los aspectos que se deben contemplar, es que existe la fuerte necesidad a 25 años de la planeación de la etapa de una disposición final adecuada, ya que si es que no se toman medidas como la reducción en origen, el reaprovechamiento y reciclaje de materiales, el compostaje

o cualquier otra, en un futuro serán necesarios aproximadamente 156,815 metros cúbicos de espacio. De esta manera, si se les da prioridad a los tratamientos sobre la disposición final, y se consideran que las cantidades de residuos re-aprovechables, tratables y composteables no cambiaran en el tiempo o se mantuvieran prácticamente constantes la cantidad de residuos dispuestos serian de solo el 9.99%, por lo que la proyección representaría solo 1,431 toneladas. Esto se vería reflejado en la disminución de espacio requerido y por ende en el menor impacto que representaría para el área.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo comprendió el desarrollo de cuatro etapas básicas:

1.7 Revisión de antecedentes y diseño del plan de trabajo.

Se realizó una recolección de información general concerniente a la temática de residuos sólidos y al área de estudio.

1.8 Recopilación y generación de datos en campo.

Prevía aplicación de encuestas (con el objetivo de delimitar la población muestra y reunir información básica del manejo), se realizó la caracterización de los residuos sólidos (A través del procedimiento citado en las NMX's 015, 019, 022, 061 del 1985) generados por la población muestra (por unidad domiciliar y atípica, considerando a estas ultimas como todos aquellos generadores de residuos con características domiciliars pero que no son casas habitación y subclasificandolos en sectores: comercial, servicios e institucional o educativo). A la par se recopilaron datos de los aspectos más

importantes en el actual sistema de gestión de los residuos sólidos.

1.9 Procesamiento e interpretación de datos.

Se calcularon los parámetros principales de los residuos, realizando con ellos los estudios y proyecciones de carácter cuantitativo, prospectivo y cualitativo. Además, se analizó el sistema de gestión de los residuos sólidos identificando en las unidades activas del manejo sus principales características, limitaciones y problemáticas en base a consideraciones técnicas y normativas.

1.10 Herramientas de planeación.

Se identificaron las acciones estratégicas a implementar en futuros planes de gestión de los residuos sólidos. Para la definición, se evaluó el nivel de relación entre las diferentes variables que interactúan en el sistema y las necesidades de acción.

V. SUMARIO Y CONCLUSIONES

Por medio del muestreo y la aplicación de encuestas, se pudo determinar que las personas del área tienen cierta disposición a la participación en este tipo de programas, lo cual podría interpretarse como un indicador

Los residuos sólidos dentro del área natural protegida son responsabilidad directa de los gobiernos municipales de Ojinaga y Manuel Benavides, cuya correspondencia al total de los residuos sólidos producidos y por lo tanto su aportación en recursos y atención al manejo representan el 20 y 80% respectivamente.

Las necesidades de espacio y de recursos para un correcto manejo y disposición de los residuos sólidos ante la generación cal-

culada es considerable, aunque se debe contemplar ante todo que en este sitio bajo la categoría de Área de Protección de Flora y Fauna y en base a la normatividad vigente (Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos y la NOM-083-SEMARNAT-2003) la disposición final debe ser evitada a toda costa, contemplando su instalación desarrollo y uso como la ultima opción de tratamiento.

La cantidad de residuos sólidos que se generan en el área es relativamente pequeña por lo que la problemática no es tan grave, pero la acumulación consecuente, asociada a un mal manejo, esta produciendo impactos negativos en el medio y tomando en cuenta la categoría de este sitio esto debe evitarse a toda costa

Existe la necesidad de rescatar materiales que son potencialmente reciclables a través del diseño de programas de acopio de materiales, transformación (composteo) y reutilización que puedan ayudar a disminuir y prevenir efectos adversos, basados en el principio de que resultara siempre mas barato una estrategia de reaprovechamiento que enmendar los posibles daños que podrí-an ocasionarse en un futuro.

El reciclaje de residuos a través de programas planeados en el tiempo y en el espacio, puede ser factible, partiendo del hecho de que la comunidad puede ser educada para brindar el apoyo y a que las cantidades de residuos generadas de ciertos materiales son atractivas en tiempos relativamente no muy grandes.

El sistema actual de manejo dentro del área, en su totalidad carece de técnicas y de mecanismos de planeación en cada sus

etapas; por lo que no se garantiza su inocuidad hacia el medio ambiente y hacia la salud humana; así como su funcionalidad y eficiencia.

Es necesario iniciar con labores de capacitación y programas de educación ambiental a los responsables de manejo, la población en general y al público interesado en la temática.

Es necesaria la implantación y diseño de un plan de gestión maestro que contemple las consideraciones determinadas en este trabajo y que desarrolle al máximo las opciones de valorización de los diferentes tipos de residuos encontrados, y para esto la in-

formación generada se contempló como suficiente para cumplir con este objetivo.

VI. AGRADECIMIENTOS

- Al personal del Área de Protección de Flora y Fauna “Cañón de Santa Elena”.
- Al personal de apoyo que trabajaron en el desarrollo de este proyecto.
- Al Fondo Mundial de la naturaleza (WWF) por el apoyo económico brindado para la realización de este proyecto.
- Al CIMAV por las atenciones brindadas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS

- Alegre M.; A. Cantanhede y Sandoval L. 2000. Guía para el manejo de residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente/Organización Panamericana de la Salud (CEPIS/OPS)
- Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM Chihuahua). 1999. Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena. Consultado el 14 de febrero del 2005 en <http://www.chi.itesm.mx/chihuahua/geografia/staelena.html>.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 1997. Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena. Coordinación de Publicaciones y Participación Social del INE. 1a. edición: julio de 1997
- Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Información (INEGI). 2000. XII Censo General de Población y Vivienda.
- Sancho y Cervera, J. y G. Rosiles. 1994. Situación actual del manejo integral de los residuos sólidos en México. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Desarrollo Social (SEMARNET, INE y SEDESOL). 1997. "Estadísticas e indicadores de inversión sobre los residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México". SEMARNAT. México, DF.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, (SECOFI). NMX-AA-061-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - Determinación de la generación.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, (SECOFI). NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - muestreo - método de cuarteo
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, (SECOFI). NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, (SECOFI). NMX-AA-019-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - Peso Volumétrico "In Situ"

Sección 2:

*Efectos ambientales y
factores de riesgo
asociados al manejo de
residuos sólidos*

Vertederos y Viviendas

Dr. Gerardo Bernache

CIESAS Occidente

Guadalajara, Jalisco, México

email: gbernache@yahoo.com.mx

Resumen

En las últimas dos décadas se han atestiguado un número de casos en que antiguos vertederos que en su momento se ubicaron en una zona alejada de la mancha urbana, ahora han sido alcanzados por la expansión de la construcción de viviendas lo que representa un riesgo para la población que sin pleno conocimiento se instala en predios contiguos a basureros y que con el paso del tiempo sufrirá un impacto directo sobre su salud, su calidad de vida y una depreciación del valor de sus vivienda. En el caso de la zona metropolitana de Guadalajara, los cuatro municipios principales tienen casos diversos que ilustran la complejidad de este nuevo fenómeno que afecta a grupos importantes de colonos en la ciudad. Por ello es este trabajo se presenta un análisis del problema de la interacción entre los vectores de contaminación ambiental que se generan en los basureros antiguos y un sector importante de la población en Guadalajara, que ha construido sus viviendas sobre estos sitios o muy cercanos a ellos, lo cual nos lleva a pensar sobre los riesgos para la salud que podrán resultar de una exposición constante a los mencionados vectores (emanaciones de gas metano, escurrimientos de líquidos contaminantes y la contaminación del suelo donde se construyeron las viviendas)

I. INTRODUCCIÓN

La zona metropolitana de Guadalajara (en adelante ZMG) está conformada por cuatro municipios (Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá), donde viven unos 5 millones de habitantes. Esta población de la ZMG produce montañas de basuras diarias, Ramí-

rez y Chávez han reportado que durante 1996 la producción de la ciudad sumaba 3,271 toneladas diarias de residuos sólidos (1998: 161). Nuestros estudios indicaban que la generación de residuos en la ZMG alcanzaba las 3,119 toneladas diarias para 1997 (Bernache y cols., 1998; Bernache y cols., 2001). Sin embargo, la generación de residuos sigue creciendo y alcanza, en el año 2004, un monto diario de 4,161 toneladas. Estas miles de toneladas se acumulan día con día, de tal manera que se puede estimar que la ZMG producirá, durante la primera década del siglo XXI, alrededor de 15.6 millones de toneladas de basura.

Es evidente que el problema de la basura es de grandes proporciones y complejidad, lo que le requiere a los ayuntamientos gran infraestructura de recursos materiales y una estructura administrativa compleja para un apropiado de manejo de residuos. Sin embargo, la realidad es que la mayoría de los ayuntamientos no cuenta con tales recursos y carece de las condiciones para realizar una buena gestión del servicio público de limpia (Bernache, 2000; Verduzco y García, 2001, y Rangel, 2003).

El reto que enfrentan los ayuntamientos locales es desarrollar sistemas de tratamiento de los residuos para evitar que terminen enterrados en los vertederos municipales, ya que los sitios de disposición final se han convertido en focos de contaminación. De los residuos generados en la ZMG, el 95% es

enterrado sin ningún tipo de tratamiento, otro 5% es material aprovechado por los esfuerzos de programas de separación, de los centros de acopio y por el trabajo de los grupos y comunidades de pepenadores que laboran en diferentes áreas de la ciudad. Finalmente, en la mayoría de los casos, los sitios de disposición final funcionan como vertederos controlados o incluso como tiraderos a cielo abierto, lo cual significa que no se controla la contaminación que ocasionan los entierros de basura.

A partir de la década de los ochentas, el crecimiento urbano alcanzó las zonas donde se ubicaban tiraderos y vertederos de la región limítrofe a la zona metropolitana de Guadalajara. Algunas colonias populares, donde se vendieron lotes baratos para la autoconstrucción, surgieron en los lugares cercanos a los tiraderos. El precio y la ubicación de los predios alrededor de los tiraderos cambia con el tiempo, bajo ciertas condiciones se vuelven atractivos para la inversión de constructoras o bien para la inversión familiar en una vivienda accesible. A partir de los primeros años del siglo XXI se multiplicó el problema de la construcción de viviendas en predios vecinos a sitios de disposición final. El número de familias viviendo en las inmediaciones de tiraderos que ya no están operando ha crecido y para el año 2007 se cuentan miles de familias en estas condiciones.

La presente ponencia se dedica a presentar la situación de los sitios más problemáticos en la zona metropolitana de Guadalajara y el riesgo que implica vivir a unos pasos de un viejo tiradero. Si bien es cierto que el riesgo a los vecinos es menor cuando un sitio de disposición final ha sido bien manejado durante el tiempo de operación y hay

con acciones de monitoreo, mantenimiento y remediación una vez que ha sido cerrado. En México es muy raro el sitio que ha sido bien manejado durante y después de su periodo de operación, por lo que hay vectores de contaminación no controlados que pueden afectar la salud y el bienestar de los vecinos que se ven expuestos a dichos vectores de manera constante.

II. ANTECEDENTES

En este estudio definimos de la siguiente manera los tres tipos de sitios de disposición final. Primero, el tipo más común y antiguo que se utiliza para enterrar los residuos en un tiradero a cielo abierto, el cual fue localizado sin ningún tipo de parámetro, carece de infraestructura mínima para controlar acceso y para controlar la contaminación. Segundo, el vertedero controlado que es un sitio en el que se consideraron algunos parámetros para su ubicación y contaba con control de acceso y ciertos tipos de infraestructura parcial para el control de la contaminación. Por último, el relleno sanitario que es un sitio controlado, una obra completa de ingeniería sanitaria que su operación cumple con las normas ambientales vigentes.

El decir que cumple con las normas básicas no quiere decir que es un sitio completamente seguro y sin problemas, lo que quiere decir es que las autoridades responsables han hecho un esfuerzo y realizado inversiones considerables para tratar de evitar que los rellenos generen problemas. El investigador Bill Breen ha identificado los cinco problemas más relevantes asociados a la operación de rellenos sanitarios en los Estados Unidos: usan un espacio amplio que ca-

da vez es más difícil de localizar dentro de los territorios municipales; emiten gases que afectan negativamente la calidad del aire que respiramos y la atmósfera con su efecto invernadero; contaminan las fuentes de agua con los lixiviados que se escapan; paradójicamente los rellenos sanitarios no son sanitarios; y, finalmente, el tener rellenos sanitarios afecta la motivación y el compromiso para reducir y reciclar los residuos (Breen, 1990: 44).

El concepto del relleno sanitario surgió en la primera década del siglo xx en ciudades de Estados Unidos e Inglaterra. La idea era controlar los olores y la fauna nociva, así como concentrar en un solo lugar los residuos de una localidad. El relleno era sanitario porque se tenía como propósito el cuidar la salud pública. En esos tiempos los profesionales de la salud identificaban como fuente de enfermedades y contagios los desperdicios putrefactos que se encontraban dispersos y acumulados en las calles y en sitios inapropiados por su cercanía a las viviendas.

En México la mayoría de sitios para la disposición final son tiraderos a cielo abierto y vertederos controlados, de acuerdo a la nomenclatura de los ayuntamientos. Sáncho y Rosiles (1999) reportaban para los años noventa un registro de un total de 65 rellenos sanitarios en México, de los cuales 51 se ubicaban en ciudades medias y zonas metropolitanas y 14 en ciudades menores. El INEGI, empero, indica la existencia para el año 1996 de un total de 31 sitios controlados, 61 sitios no controlados y un número no identificado de tiraderos a cielo abierto (INEGI, 1998). A grandes rasgos, la proporción de los residuos que van a rellenos sanitarios y vertederos no controlados es de un

tercio, mientras que dos tercios terminan arrojados en tiraderos a cielo abierto y en basureros clandestinos, como se muestra en la tabla 1. Un poco más de un cuarto del total de los residuos, 27%, está siendo sujeto a una disposición final apropiada. Esta clasificación del INEGI puede traducirse como relleno (sitio controlado), vertedero (sitios no controlados) y tiraderos a cielo abierto. En la Tabla 1 se pueden apreciar los dos lenguajes oficiales, en primera instancia los nombres que las autoridades ambientales y los responsables de datos censales le asignan a cada tipo de sitio. En letras cursivas están los nombres que utilizan las autoridades municipales. La principal diferencia está en los vertederos llamados controlados por las autoridades locales que en sentido estricto son parcialmente controlados.

Tabla 1. Destino de los residuos municipales en México. Porcentajes

Tipo de Sitio	1991	1996
Sitios controlados (rellenos sanitarios)	21.5	27.0
Sitios no controlados (vertederos controlados)	11.9	8.2
Tiraderos a cielo abierto	66.6	64.8
TOTAL	100	100

Fuente: INEGI, 1998.

III. MÉTODO

Se siguió una metodología cualitativa de las ciencias sociales basada en recorridos de observación y toma de notas de registro de los hechos o situaciones que resultan relevantes.

Los datos obtenidos en los recorridos de observación se contrastan con la normatividad vigente y se establecen algunos elementos para estimar posibles impactos sobre la po-

blación que se vea expuesta a vectores de contaminación que se originen en los sitios de disposición final. Se presentan cuatro casos de sitios problemáticos por la ubicación cercana de viviendas: San Gaspar de las Flores; Las Juntas; La Cardona y Coyula.

El riesgo para los habitantes vecinos a tiraderos dependerá de una variedad de factores, entre los que identificamos a los siguientes: tipo de residuos enterrados, dimensiones del sitio, tipo de sitio, años de operación y monto de residuos enterrados, la distancia a la que se encuentran las viviendas, el control de los vectores de contaminación y la orientación del flujo de vectores de contaminación de acuerdo a los vientos y topografía.

IV. RESULTADOS

4.1 Vida urbana en San Gaspar

En este lugar operaron, hasta la década de los ochenta, una serie de bancos de arena que dejaron grandes cavidades en una extensa zona. Estos enormes huecos en el suelo después de unos años resultaron atractivos para las autoridades de Guadalajara porque estaban “listos” para rellenarlos con basuras. A partir de 1985 los socavones se convirtieron en una serie de tiraderos a cielo abierto a donde traían sus residuos municipales tanto Guadalajara como Tonalá.

Los tiraderos a cielo abierto ocupan de manera dispersa una zona de 30 hectáreas, aunque no es un solo depósito. Hay zonas firmes y otras de relleno, la profundidad promedio es de cuatro metros, aunque hay sectores en los que los depósitos alcanzan los ocho metros o más. El sitio cerró sus operaciones en 1989 y unos cinco años después el predio empezó a fraccionar y se

vendió casi todo, por supuesto, por iniciativa de autoridades ejidales y municipales que obtuvieron buenas ganancias con este negocio irregular.

En un recorrido que realizamos a principios de 2005 en la zona de basureros de San Gaspar pudimos apreciar que las áreas ocupadas por viviendas es un esta área está dividida en cinco colonias (donde tienen sus viviendas unas 1,000 familias (unas 5,000 personas). La más antigua, descrita en párrafos anteriores, está en un predio contiguo al principal entierro de basura y se conoce como Lomas de Zalatlán. Las colonias ocupan, en asentamientos dispersos, unas 10 hectáreas, los predios de los basureros otras 10 hectáreas y el resto es utilizado para siembra y pastoreo de ganado menor, para establos de vacas de ordeña y predios donde se fabrican y se cocinan de manera rudimentaria los ladrillos para la construcción.

Todo parece indicar que en el futuro próximo la construcción de casas habitación reclamará mayores espacios en San Gaspar donde las comunidades de familias poblarán más densamente el área que ocupan actualmente y poco a poco las viviendas remplazarán a las actividades agrícolas, a los establos y a las ladrilleras. Al menos dos de las cinco colonias tienen zonas bajas donde se construyeron casas y, aunque aquí no se enterró basura, actualmente sí escurren lixiviados. Parece que la tabla de agua está a menos de un metro y sólo se requiere excavar un poco para que pronto empiecen a aflorar los líquidos oscuros, café claro o amarillentos, con cierto tipo de nata aceitosa. La gente no toma agua de aquí y evita su consumo para actividades domésticas o de higiene personal, aunque algunas familias sí

usan el agua para lavar su ropa, para el sanitario y algunos otros fines domésticos.

Durante el recorrido se pudo constatar que en algunos establos extraen agua de sus pozos, contaminada con lixiviados, para dar de beber al ganado de ordeña. Parece evidente que de una u otra forma todo el ganado vacuno de esta zona se ve expuesto a beber lixiviado y lo hace de manera regular.

En los recorridos realizados en el sitio se han identificado más de una docena de pozos contaminados. A simple vista el agua se ve diferente, con color café claro y con restos de grasas y aceites que flotan en la superficie. Otro problema que descubrieron los residentes al empezar a construir sus casas es que debido a la carencia de una red de agua potable, tenían que contar con cisternas o depósitos de agua. En tres puntos de la colonia adyacentes a las zonas de entierro de residuos, al excavar el suelo para construir sus depósitos, conocidos como aljibes, la tabla de agua estaba muy cercana a la superficie y los agujeros excavados se empezaban a llenar de un líquido oscuro: los lixiviados del basurero. Algunas casas presentan humedecimiento en la parte baja de las paredes ocasionado por la saturación de lixiviados en el subsuelo cercano. En una muestra tomada en 1997 de líquidos de un aljibe, esta agua resultó positiva a la presencia de patógenos como *E. Coli* lo cual la clasifica como residuo peligroso biológico infeccioso según la Norma Ecológica CRP 001 (1993).

En los próximos 10 años podemos estimar que estarán viviendo aquí unas 5,000 familias, más de 20,000 personas que se verán expuestas a los riesgos de exposición a la contaminación del lugar.

4.2 Las Juntas

La disposición de residuos en el tiradero a cielo abierto de Las Juntas hacia 1983 y concluyó en 1985. En ese entonces ya había viviendas en la zona, aunque apenas empezaba a consolidarse su población. Éste es un sector de la colonia Las Juntitas de Tlaquepaque. El sitio es quizá uno de los que tienen mayor impacto en la calidad de vida de los residentes de colonias vecinas y aledañas que lo han rodeado totalmente.

El antiguo tiradero de Las Juntas tiene una superficie de casi 4 hectáreas y con una profundidad aproximada de 40 metros. En este sitio no solo se depositaron residuos residenciales y municipales, sino hubo descargas ilegales de residuos industriales peligrosos y un predio anexo de 1 hectárea sirvió para depositar metales residuales (escorias) de procesos de fundición y pueden generar residuos de ciertos metales pesados. Éste es un sitio con una intensa actividad humana alrededor y sobre el mismo tiradero. El tránsito de personas es continuo durante el día ya que las personas cruzan el lugar para acortar el camino hacia su destino, grupos de niños juegan y corren, otros juegan fútbol en una cancha improvisada, por las noches los jóvenes de la zona se reúnen en el sitio para platicar y socializar.

Además de estas actividades, el tránsito de camiones por las calles aledañas es constante, los transeúntes caminan por las calles perimetrales y los estudiantes caminan a una escuela localizada a dos cuadras. Dentro del predio hay seis casas habitadas en una zona del perímetro, y si bien es probable que ya estuvieran ahí cuando el basureo empezó a funcionar, ha habido intentos de otros asentamientos sobre el sitio. La

Recomendación 2/99 surgió a partir de una queja de un grupo de personas que tomaron el lugar para construir sus viviendas y fueron desalojadas por policías de Tlaquepaque, pero no prosperó ante Derechos Humanos ya que se consideró el alto riesgo que implicaría la construcción de cualquier tipo de vivienda sobre el tiradero y más aún cuando su actividad de producción de biogases es muy intensa. Algunos vecinos de la zona, incluso, han reportado pequeñas explosiones y flamaos por el metano que migra a los alrededores por el sistema de tubería de drenaje.

El cauce de un arroyo o corriente de temporal atraviesa el tiradero, asimismo un par de tubos de drenaje descarga dentro del predio. La producción de biogases es muy activa aun después de dos décadas, y los olores escapan de la red de pozos de ventilación que se distribuyen en la superficie del tiradero. Una media docena de quemadores está instalada en el lugar y una persona los enciende regularmente para quemar el metano además de supervisar la emisión de biogases; vive a unos pasos del sitio y cada día hace al menos un recorrido.

Respecto a la contaminación ambiental y el riesgo para la salud de los vecinos que originan estos depósitos, es importante señalar que desde 1983 hubo disposición ilegal de residuos industriales peligrosos en mayor o menor medida intercalados con capas de residuos domiciliarios. Un autor ha comentado que: "... se cubrió la basura doméstica con residuos de una industria química de la localidad generando desde entonces olores fétidos, gases y lixiviados, lo que ha deteriorado la calidad de vida y las condiciones medio ambientales" (Villaseñor, 1993: 16).

Entonces tenemos en este lugar la presencia de residuos peligrosos y sus lixiviados, las emanaciones de metano ocasionadas por la descomposición de la basura orgánica, las emisiones de residuos industriales que escapan por los tubos de ventilación y, por si esto fuera poco, se pueden observar restos de material hospitalario en secciones erosionadas de la cubierta de tierra. Sin embargo, dada la profundidad de los depósitos no se ha logrado extraer lixiviados para hacer un muestreo. Un muestreo de un charco que se acumula en la parte baja del sitio, que se origina en las descargas de un tubo de drenaje domiciliario, resultó con características biológico infecciosas por la presencia de *E. Colli*.

En este lugar hay pocos espacios disponibles para nuevas construcciones, todo el perímetro de tres lados está ya ocupado por construcciones, solo uno de los frentes no está ocupado porque no es apropiado para la construcción. Unas cinco colonias delimitan este gran predio. En un primer cinturón de construcciones vecinas al tiradero se pueden contabilizar una centena de 100 viviendas, con unos 500 habitantes, localizadas a menos de 30 metros del perímetro. En un segundo cinturón de casas ubicadas entre 30 y 100 metros del perímetro se localizan unas 500 viviendas con unos 2,500 habitantes. Estos dos grupos de personas en esta zona de la delegación Las Juntas están expuestas de forma regular y directa a la contaminación sanitaria por la presencia de residuos peligrosos en los dos basureros. En un tercer cinturón estarían otras miles de personas que se ven expuestas de forma más indirecta ya que viven un poco más lejos pero dentro de un radio de trescientos metros del perímetro de los tiraderos, espe-

cialmente aquellas que viven pendiente abajo y en la zona en que los vientos dispersan los biogases y otros vapores de los residuos.

4.3 Lomas de San Gonzalo y La Cardona

El sitio de La Cardona se extiende por cerca de cinco hectáreas a lo largo del antiguo camino a Copala ingresando por la carretera a Tesistán. Este sitio funcionó como un tiradero a cielo abierto, el cual se ubica en un lugar que no era adecuado para funcionar como tal, pues está muy cercano al cauce del Río Blanco y la topografía del lugar favorece que los escurrimientos y las filtraciones generados por los desechos corran en dirección de la cuenca. El cauce del río está a unos 500 metros del perímetro del predio. Todo parece indicar que el suelo bajo el basurero de La Cardona es poroso y permeable. Esto significaría que la mayor parte de los lixiviados estaría filtrándose casi verticalmente y que sería muy poco su desplazamiento horizontal, hacia capas inferiores del subsuelo.

El predio es utilizado para hacer pastar vacas de ordeña, provenientes dos establos, los tejabanos y corrales se localizan a unos 200 metros de la entrada en el costado sur. Una veintena de vacas está siendo ordeñada en el primer establo. Al fondo, en la planicie que se extiende hacia abajo, hacia el cauce del Río Blanco, hay otro hato de unas treinta vacas de ordeña pastando.

De la brecha de acceso al sitio y hacia el oriente se extiende el basurero que termina en tres salientes que forman una burda "E", la ubicación y la profundidad de los residuos es variable, dependiendo de la topografía previa al depósito. Pero en su parte principal podría alcanzar hasta 12 metros de pro-

fundidad. No todo el gran predio fue utilizado como tiradero, solo una parte que ocupa unas 10 hectáreas.

Durante los recorridos realizados se observaron pequeños incendios pero persistentes. En un recorrido se detectaron combustiones en 4 puntos del sitio, una de ellas era un pequeño incendio en una barranca del lado sur, donde se quemaba basura que contenía yeso de algún proceso industrial o escombros de tabla roca, ladrillos y otros materiales. Aquí una pequeña llama se mantenía ardiendo y un humo picante invadía la atmósfera cercana. El fuego parecía estar contenido a una o dos descargas recientes de camión que estaban un poco separadas del resto de los manchones de basura por lo que no se extendía. Los otros tres puntos de combustión eran de combustión lenta, sin llama, donde apenas se veía una pluma de humo y el color negro del piso. Al acercarse se aprecia una depresión de un diámetro de tres metros por uno de profundidad, con una apariencia de un gran plato. Uno de los bordes está consumiéndose y tiene tintes amarillos verdeceos, el calor se siente al acercarse. En otro punto en la ladera hay una grieta en una ladera de unos cinco a diez centímetros de ancho y de unos cuatro metros de largo, en forma irregular. Se aprecian pequeños colapsos de tierra en la parte adyacente de la ladera. El olor del humo es especial, a algún tipo de combustión de residuos químicos industriales.

Un gran porcentaje de la humedad de la basura orgánica ha sido disipado durante los 15 años que han pasado desde que estaba en operación. Sin embargo, se puede esperar que si bien los escurrimientos no son masivos, sí tengan concentraciones significativas de sustancias contaminantes. En

otro recorrido de observación en el año 2003 se observaron de nuevo varios puntos de combustión. El primero que notamos fue un pequeño fuego en una ladera del basure-ro. Este fuego, menor a un metro de diámetro, ardía constantemente y parecía tener una fuente de alimentación que le permite continuar encendido por varios días. Las dos fuentes más probables de este fuego constante son: alguna formación residual de gas metano, o bien la presencia de alguna sustancia peligrosa de tipo flamable de origen industrial.

En una visita reciente se identificaron dos deslaves de basura en la ladera oriente, por donde escurrían pequeños afloramientos de lixiviados que se juntan en la base formando un pequeño charco de siete por dos metros con poca profundidad; de ahí el lixiviado escurre formando un cauce de arroyo que fluye hacia la parte más baja en el pequeño valle donde tres hatos de ganado vacuno pastan apaciblemente. El arroyo de lixiviados, las aguas negras de una colonia que se ubica al sur y el agua de lluvia forman una primer laguna de unos 50 × 15 metros, con poca profundidad; luego se desprende el arroyo y sigue pendiente abajo hasta encontrar la segunda laguna o represa que está junto al cauce del Río Blanco.

Dos nuevos fraccionamientos se han construido en el lugar. Uno de ellos, Lomas de San Gonzalo se ubica frente al tiradero, de hecho lo único que lo separa del tiradero es la calle de acceso. El tiradero y el fraccionamiento comparten un frente de 500 metros. Este fraccionamiento es para familias de ingresos medios y ahora está en la etapa de construcción y pre-venta de las casas. Aquí se construyeron unas 300 viviendas que serán ocupadas por unas 1,200 personas que

realizarán sus actividades diarias en una zona muy cercana al tiradero y sin duda sufrirán efectos negativos en su salud y calidad de vida.

Dado que la topografía de esta zona tiene una pendiente y el pequeño valle un piso más bajo hacia el oriente, se puede esperar que los lixiviados, superficiales y subterráneos, escurrirán en dirección contraria a los dos fraccionamientos vecinos. Sin embargo, las familias que habitarán aquí estarán dentro de un radio de 500 metros del perímetro del vertedero, así pues, en el futuro cercano y mediano estas dos comunidades tendrán una afectación en su calidad de vida y, en especial, un nivel de riesgo alto en cuestiones de salud. Además, el tiradero no tiene un sistema de ventilación de gas metano, por lo que se presume que buena parte de la producción de gas migra horizontalmente y escapa por la ladera oriente. El problema es que si el sistema de drenaje residencial se construye sobre el perímetro del tiradero el gas metano puede migrar accidentalmente hacia el drenaje y acumularse generando condiciones de explosividad.

4.4 El desarrollo de Urbi Quinta y Coyula

El sitio del vertedero de Coyula fue primero un banco de materiales de donde se obtuvieron arenas para la industria de la construcción en Guadalajara. Una vez que fue agotado el material geológico, el predio fue adquirido por el Ayuntamiento de Guadalajara con el propósito expreso de usarlo como tiradero. El ayuntamiento ya había utilizado sitios en los otros dos municipios, Tlaquepaque y Zapopan, para depositar sus residuos, pero reubicó a principios de los años ochenta sus operaciones de disposición de residuos sólidos en San Gaspar, Tonalá.

Este vertedero controlado se ubica en un predio que tiene alrededor de 48 hectáreas y la altura de los depósitos de residuos rebasa los 40 metros en los puntos más altos. En el año de 1998 Rodríguez reportaba que la altura fluctuaba entre 14 y 18 metros. Es paradójico que el depósito tenga la forma de una estructura piramidal con una base más amplia para la primera capa de residuos, una segunda capa sobre la primera de menores dimensiones y con taludes inclinados. Cada capa tiene un grosor aproximado de ocho metros y a principios de 2004 se estaba depositando la sexta capa de residuos. De lejos el entierro parece un pastel de una figura geométrica irregular pero que por su contorno y su altura semeja una gran pirámide.

En el año de 1998 se informaba que al sitio ingresaban aproximadamente 350 camiones cargados de residuos y que se vertían unas 1,400 toneladas cada día (CEDHJ, 1999) y para el año 2000 se contabilizaban 1,635 toneladas por jornada de trabajo (Arias y cols., 2001). Ramírez y Chávez (1998: 166) reportaban que para septiembre de 1994 se habían enterrado más de tres millones de toneladas de basura en este lugar. Sin duda Coyula es el sitio que ha recibido más tonelaje de residuos producidos por los tapatíos, para el momento de su clausura de operaciones en el 2004 habría recibido un total de más de cinco millones de toneladas de basuras. Esta gran pirámide de basura que forma el vertedero de Coyula es la mayor estructura de ingeniería en la ZMG.

En relación a la contaminación de los lixiviados que escapan del predio, nuestro equipo de investigación tomó dos series de muestras de lixiviados en los años 1996 y 1997. En la primera serie, durante los me-

ses de junio a octubre de 1996 se tomaron 12 muestras de lixiviado en tres puntos principales de captación de lixiviados. En ese entonces se realizó un análisis con base en dos normas que establecen los máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales de industria y de drenajes municipales, la Norma Ecológica CCA 031(1993) y la Norma Ecológica 001 (1996). Los resultados del análisis de las doce muestras indican que los lixiviados estaban fuera de los límites permitidos en tres puntos:

- Conductividad. De las muestras 70% estuvo por encima de los 8,000 μ mhos / cm que establece la Norma como límite permisible.
- Grasas y aceites. De las muestras 42% estuvo fuera del límite de <100 mg / L. En el total de las muestras el rango fue de 13 -245 mg / L.
- Cianuros. 11% presenta valores fuera de norma y se detectaron en 75% de las muestras.

En la segunda serie, en 1997, se hicieron otros estudios de los lixiviados, pero ahora con base en la norma que establece la peligrosidad de un residuo (Norma Ecológica CRP 001 de 1993), y que se conoce como la Norma CRETIB, a partir del acrónimo que forman las características de los residuos peligrosos. El análisis arrojó evidencia de la presencia de Cromo Hexavalente en 10.2 mg/L, muy por encima del límite permitido de 5.0 mg/L que marca la referida normatividad. Este alto contenido de cromo hexavalente en los lixiviados debería ser controlado y tratado. Sin embargo, normalmente los lixiviados escapan en pequeños arroyos del sitio y corren barranca abajo.

Poco después del cierre de operaciones del vertedero de Coyula se dio inicio a un mega proyecto de construcción inmobiliaria conocido como Urbi Quinta que contempla edificar unas 16 mil viviendas en los próximos años en un gran predio de más de 500 hectáreas que colinda con el terreno del vertedero; sólo los divide el ancho de una calle. La degradación ambiental en la zona, producto del entierro de millones de toneladas de residuos municipales en el vertedero, tendrá un efecto negativo en un sector importante de este fraccionamiento, aquel que se ubique directamente enfrente del terreno del sitio de disposición final en Coyula. El predio del vertedero limita en uno de sus frentes con el camino a Matatlán y se extiende por un kilómetro aproximadamente. El terreno del fraccionamiento también se delimita por un frente en el mismo camino, pero se extiende por unos cinco kilómetros, de ahí que el vertedero y el fraccionamiento compartirán alrededor de 1,000 metros de frente, tan sólo separados por los diez metros de la vía de acceso que es el camino a Matatlán. El panorama de calidad de vida y salud pública para los futuros residentes de este fraccionamiento no es alentador, a pesar del discurso de calidad de vida y desarrollo sustentable que los directivos de la constructora y las autoridades municipales se han empeñado en difundir.

Actualmente, para el año 2007 hay unas 1,000 viviendas ocupadas, pero para el año 2010 serán más de 60,000 personas las que estarán viviendo en este gran desarrollo urbano de 16 mil viviendas anexo al antiguo vertedero de Coyula. De ese total, unas 10,000 residentes estarán dentro de un radio de 500 metros en una zona colindante con el vertedero y directamente bajo la ex-

posición continua a escurrimientos de lixiviados bajo sus casas y a los olores y gases que el vertedero emite a la atmósfera.

IV. PALABRAS FINALES

Dentro de la lógica del crecimiento urbano que se ha atestiguado, el suelo se transforma de banco de extracción de material para la construcción a tiradero a cielo abierto cuya operación puede durar meses o años, dependiendo de las dimensiones del predio utilizado. Después el sitio se clausura, se deja en abandono completo por algunos años y luego llega la construcción de viviendas en las inmediaciones del viejo tiradero.

Hay una serie de normas ambientales que regulan la localización de un sitio de disposición final y no se autoriza la construcción de sitios en zonas cercanas a centros habitacionales. Sin embargo ¿qué pasa cuando son las viviendas las que llegan a ubicarse al lado de antiguos vertederos? En este caso, son los cabildos de los ayuntamientos que tienen toda la libertad de otorgar permisos y autorizar la venta de terrenos y la construcción de viviendas en predios vecinos a antiguos vertederos que ya no están en operación. La voracidad de algunas compañías constructoras se conjuntan con la corrupción y la ignorancia de ciertas autoridades municipales han resultado en autorizaciones para construir viviendas sin reparar en el impacto futuro de la degradación ambiental en la salud y calidad de vida de las familias que habitarán estos espacios urbanos.

El recorrido por los sitios de disposición que ya están clausurados nos deja ver un patrón local en cuanto al manejo ambiental de los sitios. Cuando los tiraderos y vertederos estuvieron en operación su administración fue pobre en la mayoría de los casos. Lo que

observamos es el resultado de cierto nivel de improvisación en la gestión de residuos sólidos, que se refleja en la falta de estrategias de formación de recursos humanos capacitados y en el presupuesto insuficiente para lograr un manejo ambientalmente apropiado. Una vez que los sitios cerraron sus operaciones éstos fueron prácticamente abandonados, no hubo una remediación integral del lugar, además el monitoreo es escaso y no hay mantenimiento de la estructura del entierro de residuos en estos sitios antiguos.

Los lixiviados siguen siendo el principal problema de contaminación que ocasionan los sitios de disposición final de residuos en la región, ya que no reciben ningún tipo de tratamiento, ni son sometidos a procesos de neutralización para controlar sus residuos peligrosos como lo marca la ley. Los lixiviados se manejan de dos formas. Primera, la más común, es que no hay ningún tipo de control, captura o tratamiento de los escurrimientos, por lo que éstos fluyen libre-

mente y escapan del sitio de manera superficial como arroyos o por filtración vertical hacia el subsuelo. La segunda forma de manejo de lixiviados es que éstos capturan parcialmente y luego se recirculan a la cima del entierro y se fuerza la infiltración al subsuelo.

Sigue vigente la postura de La Comisión Estatal de Derechos Humanos del Estado de Jalisco, que en su Recomendación 2/99 (CEDHJ, 1999), pedía a los responsables estatales y municipales solucionar el problema de tiraderos y vertederos que han quedado aledaños a zonas habitadas y presentan un grave riesgo a la salud de la población vecina. Las personas y comunidades tienen derechos que deben ser respetados, los seres humanos tienen el derecho de vivir en un ambiente limpio y equilibrado que no ponga en riesgo su salud. Para la Comisión Estatal de Derechos Humanos, la contaminación que originan los viejos tiraderos en la ZMG viola el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, V., A. Balderas, E. Flores y J. Sosa, 2001. "Manejo de residuos sólidos municipales en la zona metropolitana de Guadalajara. Diagnóstico de la generación, transporte y disposición final de la basura dentro de la ciudad de Guadalajara y propuestas de solución" reporte de trabajo en servicio social, Departamento de procesos Tecnológicos e Industriales, Ingeniería Ambiental, ITESO, Pro Hábitat-ITESO-INGENSA, Guadalajara, México.
- Bernache, G., M. Bazdresch, J. L. Cuéllar y F. Moreno, 1998. *Basura y Metrópoli. La gestión social y pública de los residuos sólidos municipales de la zona metropolitana de Guadalajara*, Universidad de Guadalajara-El Colegio de Jalisco-ITESO-CIESAS, Guadalajara, México.
- Bernache, Gerardo, 2000. "Los ayuntamientos y el desarrollo sustentable: el desafío de la gestión de residuos sólidos" en *Veritas II* (5), El Colegio de San Luis, San Luis Potosí, México, pp. 67-88.
- Bernache, G., S. Sánchez, A. M. Garmendía, A. Dávila y M. E. Sánchez, 2001. "Solid waste characterisation study in the Guadalajara Metropolitan Zone, Mexico" en *Waste Management & Research*, núm. 19, Northampton, Inglaterra, pp. 413-424.
- Breen, Bill, 1990. "Getting rid of garbage. Landfills are # 1" en *Garbage*, vol. II (5), Nueva York, EEUU, pp. 42-47.
- CEDHJ (Comisión Estatal de Derechos Humanos Jalisco), 1999. *Derecho a la salud y a un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Recomendación 2/99*, manuscrito no publicado, Comisión Estatal de Derechos Humanos Jalisco, Guadalajara, México.
- INEGI, 1998. *Estadísticas del Medio Ambiente. México, 1997*, INEGI, Aguascalientes, México.
- INEGI, 2001. *XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Resultados Preliminares. San Luis Potosí*, INEGI, Aguascalientes, México.
- Rangel, Francisco Javier, 2003. "La gestión de los residuos sólidos municipales en el área del municipio de San Luis Potosí", tesis de maestría en administración y políticas públicas, El Colegio de San Luis, San Luis Potosí.
- Rodríguez, María del Refugio, 1998. "Estudio ambiental sobre los efectos que ejercen los subproductos de desecho sólidos de tipo doméstico en el vertedero al aire libre de Matatlán, Municipio de Tonalá, Jalisco", tesis profesional de licenciatura en biología, División de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- Sancho, Jaime y Gustavo Rosiles, 1999. *Situación actual del manejo integral de los residuos sólidos en México*, SEDESOL, México, 20 p.
- Verduzco, B. y M. L. García (coords.) 2001. *Agenda municipal de política ambiental. Una propuesta para Jalisco*, CUCEA-Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- Villaseñor, Horacio, 1992. "Manejo integral de los residuos sólidos municipales de Guadalajara" tesis de licenciatura en arquitectura, Facultad de Arquitectura, Universidad de Guadalajara, Guadalajara.

ACORTAR EL CAMINO HACIA EL USO RESPETUOSO DE LOS RECURSOS NATURALES

Ma. Isabel Raygoza Maceda¹, Rosa María Espinosa-Valdemar¹, e Irma Delfín-Alcalá^{1,2}

(1) Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Av. Sn. Pablo 180, Col. Reynosa, C.P. 02200, Cd. México, México. rmev@correo.azc.uam.mx, mirm@correo.azc.uam.mx

(2) Universidad Nacional Autónoma de México, FES Iztacala, México delfin@servidor.unam.mx

Resumen

La UAM-Azcapotzalco tiene, entre otros compromisos, procurar el cuidado del ambiente y de promover valores para el buen uso y el aprovechamiento responsable de los recursos naturales. Ante esta responsabilidad se implementó el Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos denominado "Separación, por un mejor UAMambiente". Los objetivos del programa son: concientizar a la comunidad de la UAM-A sobre la problemática de los residuos, cumplir con la legislación ambiental en materia de residuos sólidos del D. F. e involucrar a la comunidad en la separación de los residuos de la Unidad. El Programa consiste en la segregación de los residuos en dos fracciones: *recuperables* (envases de vidrio, de PET, de Tetrapak y latas de aluminio) y *todo lo demás*. Para su aplicación, el programa se estructuró en tres etapas: 1) En áreas abiertas de la planta baja. 2) En las oficinas administrativas y académicas: 3) En talleres, laboratorios, fotocopiado, mantenimiento y áreas en las que se generan residuos de manejo especial, no incluidas en las dos primeras etapas. La UAM-A ha reducido considerablemente el volumen de residuos sólidos que son entregados al servicio de limpia de la Delegación, con esto se ha contribuido con los objetivos de reducción de desperdicios de la política municipal, y ha sido posible porque la UAM-A ha enviado a reciclaje las siguientes cantidades de residuos recuperados: 2.3 toneladas de PET, 1.2 toneladas de tetrapak, 27.5 kg de aluminio y 2.2 toneladas de vidrio. A raíz

de la puesta en marcha de este programa en octubre de 2003, se han alcanzado tres importantes objetivos; primero se ha reducido la generación de residuos de la UAM-A; segundo, se ha enviado a reciclaje un volumen considerable de residuos sólidos y, tercero, se ha contribuido al mejoramiento del ambiente de la comunidad universitaria

INTRODUCCIÓN

La sociedad humana es responsable de su entorno y en tal carácter está obligada a asumir el compromiso de procurar el cuidado del ambiente, lo que requiere impulsar, sobre todo en las nuevas generaciones, valores que conduzcan al buen uso y el aprovechamiento responsable de los recursos naturales para la alimentación, el vestido, la habitación así como otros satisfactores que les permitan vivir con salud y bienestar.

Las generaciones actuales, estamos obligadas a asegurar salud, confort y la permanencia de nuestros hijos y de las futuras generaciones en un mundo sano y limpio. El mundo como un todo y cada país individualmente, debe desarrollar un sistema económico que coloque a *la gente* en primer lugar y a *la provisión de mercancías*, en segundo lugar.

En su paso por la Tierra, el ser humano aprendió a aprovechar los recursos naturales y a modificarlos

para que respondieran mejor a sus necesidades, a lo que se ha llamado *progreso*. En el campo de los materiales, los científicos y técnicos han sido capaces de sintetizar sustancias desconocidos en la naturaleza, y a fabricar con ellas materiales nuevos, “cosas” destinadas no solamente a satisfacer las necesidades, sino otras que se utilizan sólo para cumplir caprichos o vanidades.

Frente a dichos materiales, cuyas propiedades casi mágicas fueron diseñadas a voluntad, la naturaleza se encuentra prácticamente indefensa en cuanto a su persistencia en el entorno, ya que no hay ningún agente natural que las ataque y las descomponga, por lo menos en el corto plazo, de ahí su peligroso efecto sobre la ecología. El abuso de esos materiales por parte de productores y comerciantes del “primer mundo”, que en un afán de enriquecimiento económico desmedido los fabrican y comercializan en grandes cantidades, sin recapacitar en los posibles daños que ello ocasiona al ambiente, ha conducido a la alteración de diversos ciclos naturales y, peor aún, a la destrucción de ecosistemas. No parece ser importante la conservación del ambiente por lo que se maximiza el ritmo de consumo, en lugar de minimizarlo.

Muchos de los procesos industriales, materiales y productos que se desarrollaron y se usaron en esos países durante algún tiempo, pero que a través de los años han mostrado que representan una posibilidad de daño potencial o un riesgo a la salud o al ambiente, ya

han sido prohibidos en su país de origen. Desafortunadamente, en su afán de recuperar la inversión económica requerida para el desarrollo de dichos procesos y productos, las plantas siguen produciendo esos materiales sólo que ahora son exportados a los países “tercermundistas”. Cuando estos últimos compran esos productos para su utilización o consumo, los hacen sin tener información o sin reparar en el daño que pueden causar en su región geográfica y a escala global ya que se ha demostrado que las alteraciones ambientales ocasionadas en una pequeña localidad, eventualmente se propagan al resto del mundo¹, por lo que se vuelve imperativo que se revisen y detengan las prácticas que conllevan la posibilidad de daño ambiental en el entorno cercano.

OBJETIVOS

Analizar algunos aspectos de la problemática de los residuos sólidos en México, y a partir de ese análisis:

- Inculcar en la ciudadanía valores que conduzcan al cuidado y protección del ambiente y a un sentido de responsabilidad ambiental.
- Hacer una labor de concientización sobre la problemática de los residuos sólidos, en especial los materiales de empaque para que se reduzca su utilización y consumo ya que estos materiales son “basura”, desde el origen.
- Proponer acciones dirigidas al establecimiento de prácticas y procedimientos de respeto al ambiente, acortando así el

camino de avance tecnológico, léase *progreso*, y recuperando la herencia de nuestros ancestros que se caracterizaba por el respeto a la naturaleza.

PROBLEMÁTICA GLOBAL DEL AVANCE TECNOLÓGICO. CAMINO RECORRIDO CON PROBLEMAS NO ESPERADOS

La figura 1 muestra la trayectoria tecnológica en el tiempo de los países del primer mundo.

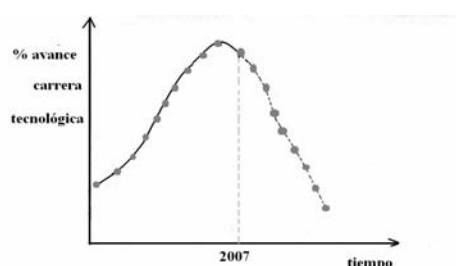


Figura 1. Avance tecnológico global de los países del primer mundo

La gráfica en que se muestran círculos de color negro corresponde al avance tecnológico de los países de primer mundo en el tiempo, en continuo ascenso, hasta que hace unos años llegó a una cima y desde ahí, se percibe un descenso que indica que actualmente dichos países iniciaron un alejamiento o abandono de la producción y el uso de diversos productos que ya han identificado como un riesgo potencial para la salud del ser humano y/o para el ambiente, y han dado un giro, un retorno a la utilización de productos más apegados a la naturaleza. En el caso de productos destinados a la alimentación, se clasifica como “orgánicos” a los que fueron producidos en ausencia de la tecnología, que involucra los

productos que a largo plazo se han detectado como nocivos para la salud y el ambiente, entre ellos, sustitutos de alimentos, plaguicidas y fertilizantes químicos.

Entre los productos inútiles que los países del primer mundo han desarrollado y exportan a los del tercer mundo y que no debíamos usar, y menos aún consumir en exceso, se encuentran:

- La mayoría de los quesos, jamones, salchichas y carnes frías son preparadas con sustitutos de dudosa calidad, a lo que hay que añadir que estos productos se expenden después de que han sido refrigerados por largo tiempo, mismo que disminuye aún más su calidad alimenticia.
- La enorme cantidad de adornos, para la casa, el coche, el pelo; juguetes de todo tipo, utensilios inútiles que se compran para ser guardados en la casa o taller por si “alguna vez se necesitan” y que están perdidos o estropeados cuando se requieren. Estas “cosas” son elaboradas en mil colores, usando plástico, metal, cerámica, papel, cartón, y se usan cuando mucho “una sola vez”.
- Aparatos eléctricos y de pilas que hacen una multitud de funciones, de las que sólo utilizamos un pequeño porcentaje, porque el tiempo lo necesitamos para pagarlos y para comprar otros más nuevos con la capacidad de hacer más *monerías*.
- Los sustitutos de alimentos, sobre todo los denominados “chatarra”,

que en lugar de alimentar, entretienen el hambre con grasas y sal, ingredientes nocivos a la salud que a mediano plazo han demostrado ser causantes de obesidad, aumento de colesterol y presión arterial alta, enfermedades que ahora son grandes problemas de salud pública. La compra de estos “alimentos” involucra un gasto excesivo en la población, si tomamos en cuenta que en México, una bolsita de frituras de maíz, con 35 g cuesta alrededor de \$4.50, al hacer el cálculo del costo por kilogramo, resulta que pagamos a \$128.00 por un kg de pedazos de tortillas duras, enchiladas y saladas que resultan ¡más caros que la carne de res! y ¡no alimentan! A su costo hay que sumarle los posibles gastos derivados de las enfermedades cuya curación o atención tendremos que pagar a mediano y largo plazo. De acuerdo con la información que proporciona el fabricante, el contenido energético de este producto, por cada porción de 25 g, se detalla en la tabla 1.

- Los empaques con los que se envuelven o se nos entregan **todos** los artículos que compramos, sean éstos de papel, cartón, plástico, vidrio o metal. Un trabajador de bajo salario, no debiera tener que pagar por los empaques que se utilizan para alargar la vida en anaquel de un producto, ya que seguramente lo usará el mismo día que lo compra. Su salario no debiera servir para la compra de “basura”

Tabla 1 Contenido energético de
“Frituras de Maíz por cada 25 gr

CONTENIDO	CANTIDAD
Grasas totales	8.0 g
Grasas saturadas	3.5 g
Grasas monoinsaturadas	3.0 g
Grasas poliinsaturadas	1.0 g
Carbohidratos totales	14 g
Fibra dietética	2.0 g
Azúcares	0.0 g
Proteína	2.0 g
Colesterol	0.0 mg
Sodio	2.7 mg

El principal problema que se genera con el uso de los empaques de los alimentos, es que invariablemente nos los encontramos en nuestra vida diaria, ya que acompañan a TODOS los productos que compramos y necesariamente los tenemos que desechar por que no son alimentos. La mayoría de los empaques regularmente no se pueden reusar porque es necesario romperlos para extraer el producto comprado. Es tan elevado su consumo, en cantidad y volumen, que ha surgido la necesidad de buscar lugares idóneos para su disposición, en rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto, muchos de los cuales ya están saturados y los materiales ahí depositados no se han degradado, lo que obliga a localizar nuevos espacios, que nadie quiere cerca de su casa por el problema que representan: fauna nociva, emisión de olores desagradables, deterioro del paisaje, riesgos de infección por contaminación biológica. Como deben estar alejados de las poblaciones, se requiere infraestructura y recursos para

transportarlos y para “acondicionar” el sitio.

La utilización abusiva de empaques lo observamos en nuestras calles: En nuestro caminar por las ciudades y poblados, invariablemente nos encontramos con ellos. Es una práctica común que la gente arroje sus empaques descuidadamente en el suelo, a lo largo del camino, en los parques y jardines, sean éstos, bolsitas de alimentos, vasos, platos y botellas, pañales, envolturas, cajas, etc. La gente no se quiere llevar esa “basura” a su casa, ya que no le sirven y prefiere dejarlos para que las “autoridades los recojan”, sin preocuparse de si con ello generan un riesgo al ambiente o a la salud humana.

PROBLEMÁTICA NACIONAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS. ESTUDIO DE CASO

Ejemplo de la compra de una caja de galletas Gourmet marca Marian, costo: \$55.50, hecho en México. En la caja se lee: peso neto 735 g, 25.9 oz, en 24 porciones; 6 galletas en promedio, equivalen a 30 g.

La caja se compró en un centro comercial, y se entregó al cliente en una bolsa del mismo (foto 1), la caja de cartón estaba envuelta en celofán (foto 2), al abrirla se encontró una hoja delgada de espuma plástica tipo esponja colocada encima de una bolsa blanca por fuera y metálica por dentro (foto 4) que contenía una charola de plástico delgado color café, con divisiones para contener los distintos tipos de galletas (foto 5), un conjunto de galletas cubiertas de azúcar glass se hallaban dentro de otra bolsita blanca metálica,

semejante a la de la cubierta de la charola café. En las fotos también se muestran los empaques que acompañaron al producto. En las fotografías también se muestra la comparación del volumen que representa la compra de un producto “bien empackado”, aunque se debe hacer notar que bastantes galletas aparecieron rotas, a pesar de tantos empaques.



empaques pueden hacer algunas preguntas pertinentes:

Para conocer la proporción de galletas con respecto a sus empaques, se pesaron y midieron los volúmenes aparentes del contenido total y de cada uno de los empaques que se pudieron registrar. La tabla 2 muestra los resultados obtenidos.

Los resultados muestran que un 40 % del volumen de compra es útil, el 60 % restante es basura, al respecto se

- ¿Cuál es el costo real de las galletas?
- ¿El costo del empaque es menor o mayor al del producto?
- ¿Cuánto cuesta el reciclaje de los empaques?
- ¿Se necesitarán recursos no renovables en su reciclaje?

Tabla 2. Resultados obtenidos al medir el volumen aparente y el peso de las galletas y de los siete empaques con los que se expenden.

EMPAQUE #	ITEM	*PESO APX		**VOLUMEN APARENTE
		oz	g	mL
	Paquete del "Super"	31.0	992	---
1	Bolsa del Súper	0.2	6.4	150
2	Cubierta de celofán	0.1	3.2	100
3	Tapa de esponja	0.1	3.2	> 250
4	Bolsa blanca grande	0.3	9.6	250
5	Charola p/ galletas	0.5	16	> 250
6	Bolsa blanca pequeña	---	---	50
7	Caja de cartón	5.1	163.2	2000
	Galletas	24.5	784	2000
7	Suma Total	30.8	985.6	5050
	Bolsa de regalo/moño	3.0	96	

*con balanza de cocina en onzas

**con jarra medidora en litros

ALTERNATIVAS PARA ACORTAR EL CAMINO Y AMINORAR EL DETERIORO AMBIENTAL

De acuerdo con los planteamientos antes expuestos, y en relación al modelo presentado en la figura 1, a continuación se sugiere una alternativa para los países del tercer mundo respecto al desarrollo tecnológico.

En este trabajo se plantea la necesidad de hacer un alto en el camino, en relación con los avances tecnológicos de los países del primer mundo, "avances" que se siguen identificando bajo el término *progreso*, mismo que ha alterado el equilibrio de la naturaleza y lo sigue haciendo, convirtiéndose en desequilibrio.

Todos los países del mundo debemos desarrollar un nuevo estilo de vida, con nuevos métodos de producción y nuevas pautas de consumo, un estilo de vida diseñado para la permanencia de la vida en nuestro planeta. Es necesario evitar la producción de artículos destinados a satisfacer necesidades creadas, es decir, que no estén encaminados a satisfacer las necesidades primarias del ser humano, tanto alimentarias, de salud o de vivienda, sobre todo artículos cuya producción requiera: recursos no renovables, escasos, aquellos que en su obtención produzcan emisiones contaminantes, los que generen subproductos potencialmente dañinos y/o residuos de difícil degradación o disposición.

Los países *tercermundistas* o *no desarrollados* no estamos obligados a recorrer el camino de los del primer mundo, si ellos ya se dieron cuenta de que algunos de sus avances fueron no sólo inútiles sino dañinos, y están desandando el camino, aprovechemos su experiencia y acortemos el camino.



Si la metodología propuesta conduce al logro de los objetivos planteados, la ruta de los avances tecnológicos de los países “tercermundistas” y de los países “avanzados”, sería como la que se muestra en líneas puntadas en la figura 2. El avance tecnológico de los países del tercer mundo, representados por óvalos de color

gris, comparado con el avance de los países del primer mundo, representados con círculos negros, ha sido más lento y actualmente todavía no alcanzamos el punto más elevado de la trayectoria de ellos, debido principalmente a que aún combinamos la tecnología con algunas prácticas ancestrales no industrializadas, que son, casualmente, las mismas que aquellos países están ahora adoptando.

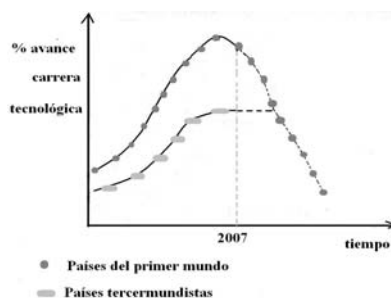


Figura 2. Propuesta de acortar la ruta al uso respetuoso de los recursos naturales

Para acortar el camino, proponemos que de las acciones denominadas **3R** (Reusar, Reciclar y Reducir) se identifique el destino que corresponde a los materiales:

- **Reciclar:** Cuando se requiere envasar los productos durante un tiempo prolongado, utilizar materiales que se puedan reciclar o someter a tratamientos de recuperación de la materia prima.
- **Reusar:** Con los productos que se pueden reusar varias veces, envasar los productos de uso cotidiano frecuente. Se recomienda recuperar la sana costumbre de comprar con envases en los que se deja un

depósito recuperable en la devolución del mismo

- **Reducir:** Los materiales que no se pueden reusar, sobre todo los que no son imprescindibles para producir un bien, será mejor sustituirlos por otros menos dañinos a la salud o al ambiente. En lugar de reducir el volumen que ocupa la basura se buscaría **reducir** la cantidad de basura que se tendría que confinar

Debemos hacer un alto para reflexionar en la cantidad de productos inútiles que fabricamos, sobre todo los que involucran un abuso en el gasto de energía, de agua y de recursos de difícil obtención.

Una forma de minimizar el problema de los residuos es utilizar menos cantidad de materiales de empaque. Se podría, por ejemplo:

- En los comedores de fábricas, restaurantes, escuelas, casas-hogar y hospitales, comprar los alimentos en envases gigantes que puedan ser devueltos al vendedor una vez vacíos. Servirlos en vajillas que se puedan lavar para que se usen repetidamente; colocar los recipientes llenos de agua y otros líquidos para beber, acondicionados de modo que dosifiquen volúmenes controlados en recipientes individuales reusables. Los recipientes gigantes se le podrían regresar al proveedor para su limpieza y reuso. Se disminuiría la utilización de recursos naturales (muchos de ellos, no renovables como el agua y la energía en

todas sus formas) al no tener que fabricar recipientes desechables nuevos.

Nuestra propuesta consiste en que en lugar de seguir la ruta y tendencia de los países del primer mundo, se detenga el ascenso tecnológico y acortemos el camino. De esa manera podemos tomar la delantera en el uso de materiales y procesos más amigables y respetuosos con la naturaleza, técnicas y materiales que heredamos de nuestros antepasados y que en algunas poblaciones rurales siguen en uso actualmente. Esta desviación en el camino, nos evitaría la “compra” de tecnologías obsoletas y dañinas, que además no podemos pagar, y nos permitirá llevar una vida sana sin afectar negativamente el ambiente ni las condiciones en que vivirán las generaciones futuras.

CONCLUSIONES.

La problemática ambiental es un tema prioritario a escala mundial, que incide directamente en la calidad de vida del planeta. Debemos estar comprometidos con el buen uso y el cuidado del ambiente y promover cambios sustanciales de valores y conductas en los individuos de nuestra comunidad, un buen espacio en que esto puede hacerse es el espacio educativo en todos los niveles.

Desde un punto de vista económico, nada tiene sentido salvo que su continuidad a largo plazo pueda ser proyectada sin incurrir en absurdos. La permanencia es incompatible con una actitud depredadora que se regocija en el hecho de que “los que eran lujos para nuestros padres han

llegado a ser necesidades para nosotros”. La economía de la permanencia implica un profundo cambio en la orientación de la ciencia y la tecnología.

Al enviar a reciclaje los residuos recuperables se logran importantes beneficios ambientales, entre ellos, reducción del volumen de residuos que se envían a disposición final, impulsar la cultura del reuso y del reciclaje, mismas que generan empleos directos e indirectos, mayor inversión con el uso de nueva tecnología, maquinaria y equipo.

La incorporación a la industria nacional de materiales recuperados, usados como alternativa o www.inegi.gob.mx

adicionados a los originales, determina que se genere materia prima con precios por debajo de los de la materia prima virgen, lo que ayuda a cuidar y conservar los recursos naturales.

BIBLIOGRAFÍA

Schumacher, E.F. 1983 *Lo pequeño es hermoso* Ediciones Orbis. Barcelona

Molina, SQM, conferencia 2004?

INEGI-SEMARNAT, 2007 Número de instalaciones y capacidad de disposición de residuos sólidos urbanos, 1999 a 2005

Análisis de Impacto Ambiental por la inadecuada disposición de residuos de la construcción y demolición en el Valle de México y propuestas de solución

Claudia Josefina Rivera Mera, Constantino Gutiérrez Palacios
Universidad Nacional Autónoma de México México D.F.
ing_cjrm@yahoo.com, gupc@servidor.unam.mx

Resumen

En la actualidad, uno de los mayores problemas ambientales que enfrenta la Ciudad de México es la cantidad de residuos sólidos generados por su población, de estos destacan los Residuos de la Construcción y Demolición (RC&D) por representar alrededor del 25 por ciento.

La creciente demanda de vivienda, las necesidades de infraestructura y la falta de normatividad en materia de reciclaje, son factores determinantes en la disposición inadecuada de los RC&D, lo que provoca impactos al ambiente.

En ese contexto, este artículo describe el trabajo realizado en la identificación de impactos ambientales ocasionados por la inadecuada disposición de Residuos de la Construcción y Demolición (RC&D) y la recomendación del uso de agregados reciclados en la construcción de obras que satisfagan los requerimientos técnicos, como medida de mitigación.

Palabras Clave – Impacto ambiental, Residuos de la Construcción y Demolición (RC&D), Reciclaje, NADF-007-RNAT-2004.

I. INTRODUCCIÓN

La generación de residuos de la construcción y demolición (RC&D) en el Distrito Federal es del orden de 3,000 ton/día¹, aproximadamente un 25% del total de residuos sólidos generados.

La norma ambiental NADF-007-RNAT-2004, única a nivel nacional, entró en vigor en julio de 2006 y tiene como objetivo establecer la clasificación y especificaciones de manejo de los residuos de la construcción en el Distrito Federal. Dicha norma establece la sustitución de por lo menos un 25% de materiales vírgenes por materiales reciclados en la construcción de diferentes obras, salvo que se compruebe mediante estudios un porcentaje diferente.

Dado que actualmente no existen estudios que recomienden el uso de los residuos de la construcción en el Valle de México y con el fin de contribuir a la aplicación de la norma, el propósito de este trabajo es buscar alternativas de solución a los problemas ambientales utilizando específicamente el reciclaje de los Residuos de la Construcción y Demolición (RC&D) y recomendando su uso en obras de ingeniería en la que se satisfagan los requerimientos técnicos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo la identificación de impactos ambientales en cuatro sitios de disposición inadecuada mediante el uso de una lista de verificación. Los sitios se seleccionaron por las cantidades de residuos que presentaban, por el área afectada y por el tipo de sitio, siendo los siguientes:

¹ Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, 2004.

Tabla 1. Sitios de disposición inadecuada de RC&D

Sitio	Area afectada	Volumen de residuos observado (m ³)
Av. Bordo Xochiaca	1,640 m ²	1,579.75
Avenida Toluca, Santa Catarina	309,381.94 m ²	464,072.91
Carretera libre a Toluca, km 9 (barranca)	280 m ²	-
Distrito de Riego de Xochimilco	70 Ha.	-

Posteriormente, como medida de mitigación a los impactos identificados, se estudió la posibilidad de recomendar el uso de agregados reciclados en la construcción de sub-bases de caminos secundarios, es decir, caminos cuyo Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) es del orden de 500 a 1500 vehículos.

En una primera parte experimental se realizaron 2 muestreos en la planta “Concretos Reciclados” S.A. de C.V.

La composición física de los materiales muestreados consta de: concreto, tabique, ladrillo, adocreto, arcilla, cerámicos, mortero, block, mampostería y algunos limos. El material se encontró, en general, libre de basura, papel, madera, plástico, textiles y materiales tóxicos.

En cada muestreo se obtuvieron muestras representativas de 50 Kg, mediante el método de cuarteo. Los materiales muestreados corresponden a las siguientes curvas granulométricas:

- 3” a finos,
- ½” a finos,

- ½” a ¼” Material Virgen (Tezontle) y
- Base Controlada (creada por la empresa utilizando el 50% de agregados vírgenes y el 50% de agregados reciclados)

Una vez realizados los muestreos, los materiales fueron transportados al laboratorio de la empresa “GEOVISA” S.A. de C.V. donde se practicaron las pruebas físicas de calidad de los materiales que establece la SCT en la norma N CTR CAR-1-04-002/03.

Las pruebas realizadas fueron:

- Humedad
- Granulometría
- Límites de consistencia de Atterberg
- Contracción Lineal
- Densidad de Gravas
- Peso volumétrico
- Prueba de compactación Proctor
- Equivalente de arena y
- Valor de soporte de California.

Dado que los valores obtenidos en esta primera etapa experimental fueron muy alentadores, ya que en su mayoría cumplían con los parámetros que establece la norma, se decidió continuar con una segunda etapa experimental, en la cual se fabricaron mezclas de los materiales con el objeto de mejorar su desempeño, probando una vez más la base controlada. Las mezclas obtenidas fueron las siguientes:

- Mezcla 1: 50% material vírgen + 50% finos
- Mezcla 2: 80% ½” a finos + 20% 1” a finos
- Mezcla 3: 70% ½” a finos + 30% 1” a finos

- Mezcla 4: 50% ½" a finos + 50% finos.

III. RESULTADOS

3.1 Primera Etapa

A continuación se muestran las curvas granulométricas y los resultados obtenidos en el primer y segundo muestreos, condensados en las tablas 2 y 3.

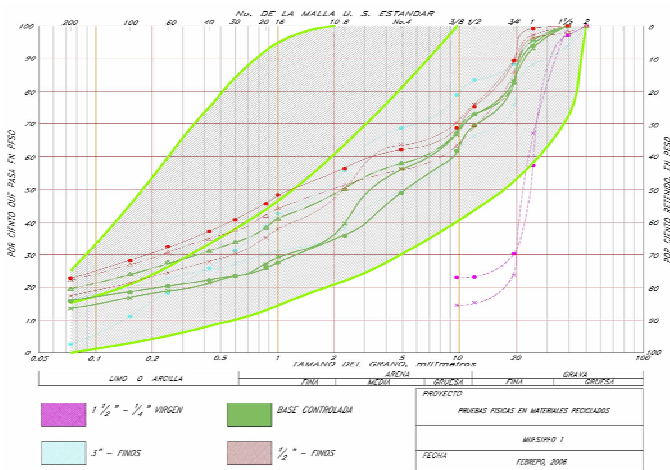


Figura 1. Curvas granulométricas. Muestreo 1

CARACTERÍSTICA	MANUAL ISSN 0188-7114, IMT			RESULTADOS OBTENIDOS		
	DESEABLE	ADECUADA	REVESTIM.	Base Contr.	3" a finos	1/2" a finos
Granulometría*	1 a 2	1 a 3	1 a 3	2	2	2
Tamaño máximo (mm)	51	51	76	25 25 25	37.5 25 25	25 25 37.5
% Finos	15 máx	25 máx	10 mín 20 máx	13.49 15.80 19.46	16.21 12.60 22.03	17.30 22.73 22.16
Límite Líquido (LL) (%)	25 máx	30 máx	40 máx	28.71 28.38 27.23	31.28 31.39 31.34	26.54 28.53 28.55
Índice Plástico (IP) (%)	6 máx	10 máx	15 máx	8.27 8.61 6.64	10.43 9.60 9.58	12.95 16.98 13.94
Compactación (%) (AASHTO Modif.)	100 mín	100 mín	95 mín AASHTO Est.	95	95	95
Equivalente de Arena (%)	40 mín	30 mín		93.67 90.98 94.19	35.58 38.38 38.34	64.30 70.62 86.73
CBR* (%) (Compactación dinámica)	40 mín	30 mín	30 mín	37.01 33.95	11.39 27.37	14.96 15.41

* Al porcentaje de compactación indicado

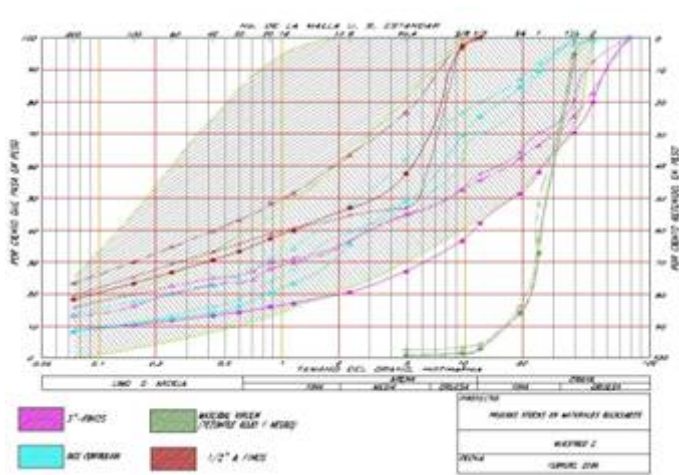


Figura 2. Curvas Granulométricas. Muestreo 2.

Tabla 3. Resultados obtenidos en el muestreo 2.

CARACTERÍSTICA	MANUAL ISSN 0188-7114, IMT			RESULTADOS OBTENIDOS		
	DESEABLE	ADECUADA	REVESTIM.	BASE CONTR.	3" a finos	1/2" a finos
Granulometría*	1 a 2	1 a 3	1 a 3	2	2	2
Tamaño máximo (mm)	51	51	76	25 25 50	50 50 9.5	9.5 9.5 9.5
% Finos (Mat. <0.074 mm)	15 máx	25 máx	10 mín 20 máx	8.68 8.38 8.63	15.83 8.21 13.34	19.37 28.30 23.47
Límite Líquido (LL) (%)	25 máx	30 máx	40 máx	27.68 27.21 26.08	36.65 36.08 34.81	37.52 37.52 32.55
Índice Plástico (IP) (%)	6 máx	10 máx	15 máx	9.61 7.62 6.42	14.95 14.65 10.80	15.10 15.19 9.63
Compactación (%) (AASHTO Modif.)	100 mín	100 mín	95 mín AASHTO Est.	95	95	95
Equivalente de Arena (%)	40 mín	30 mín		71.10 71.31 70.30	53.91 46.96 47.60	51.05 36.35 48.59
CBR* (%) (Compactación dinámica)	40 mín	30 mín	30 mín	6.90 9.59	24.73 30.88	24.73 20.30

* Al porcentaje de compactación indicado

3.2 Segunda Etapa

En la segunda etapa experimental, se realizaron las mezclas de materiales basándose en los requisitos de granulometría que establece la norma N CMT-4-02-001/04 y tomando en cuenta el buen comportamiento

observado en la base controlada durante la primera etapa. Para realizar las mezclas, se hizo necesario realizar un tercer muestreo.

A continuación se muestra la gráfica perteneciente al análisis granulométrico obtenido

de las mezclas y los resultados se muestran en la tabla 4.

En la figuras 3 y 4 se muestran las gráficas obtenidas de Peso Volumétrico Seco máximo y de VRS corregido v.s Contenido de agua, respectivamente

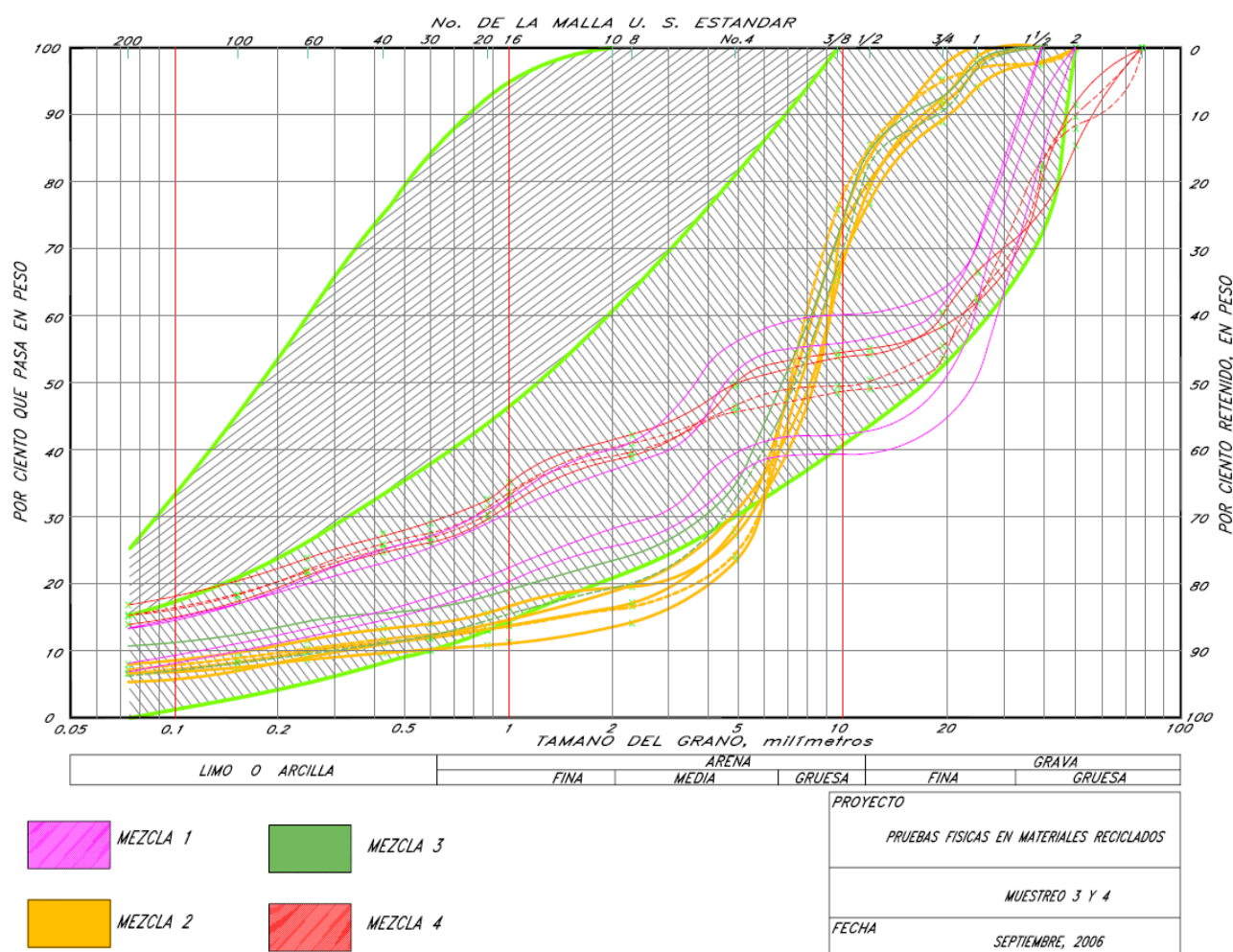


Figura 3 Curvas granulométricas. Segunda etapa

a

Tabla 4. Resultados obtenidos en la segunda etapa experimental

CARACTERÍSTICA	MANUAL ISSN 0188-7114, IMT			RESULTADOS OBTENIDOS				
	DESEABLE	ADECUADA	REVESTIM.	BASE CONTR.	MEZCLA 1	MEZCLA 2	MEZCLA 3	MEZCLA 4
Granulometría*	1 a 2	1 a 3	1 a 3	1	1	1	1	1
Tamaño máximo (mm)	51	51	76	25 25	37.50 37.50 25.00 25.00	25.00 19.00 25.00 25.00 37.50	25.00 25.00	50 50
% Finos (Mat. <0.074 mm)	15 máx	25 máx	10 mín 20 máx	8.28 9.30	6.83 8.10 13.36 13.25	7.04 5.32 6.58 7.95 6.58	6.20 10.67	13.89 16.80
Límite Líquido (LL) (%)	25 máx	30 máx	40 máx	23.50 22.70 24.62 22.81	28.19 27.13	30.54 30.87	31.04 29.97	33.98 31.72
Índice Plástico (IP) (%)	6 máx	10 máx	15 máx	9.19 3.51 7.17 5.36	6.72 5.91	8.21 8.23	10.14 13.33	12.20 11.24
Compactación (%) (AASHTO Modif.)	100 mín	100 mín	95 mín AASHTO Est	100	100	100	100	100
Equivalente de Arena (%)	40 mín	30 mín		51.34	46.50	55.04	46.55	51.29
CBR* (%) (Compactación dinámica)	40 mín	30 mín	30 mín	51.97	24.62	27.35	30.48	23.44
* Al porcentaje de compactación indicado								

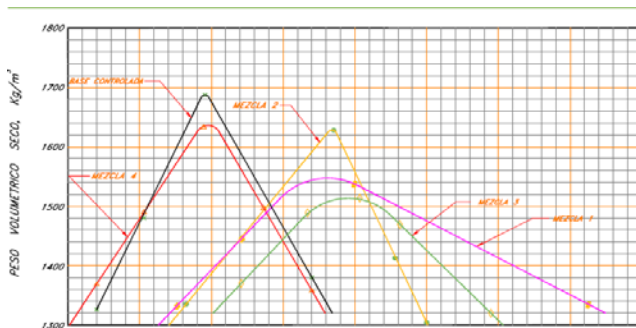


Figura 4. Peso volumétrico seco máximo

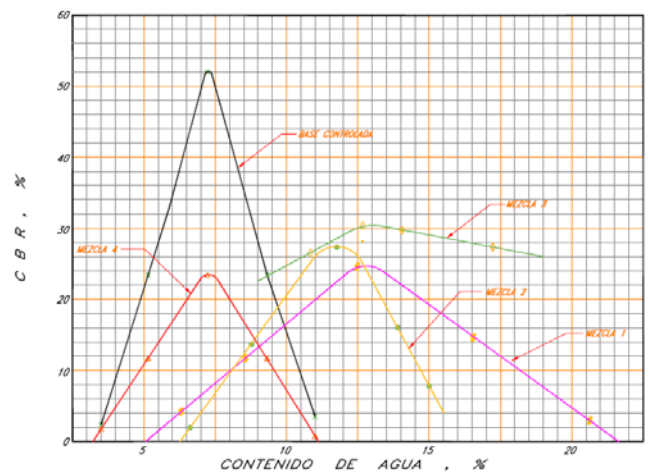


Figura 5. Gráfica de VRS corregido Vs contenido de agua

IV. DISCUSIÓN

4.1 Primera Etapa

Mediante el análisis granulométrico de la primera etapa, en los dos muestreos se observó que el porcentaje de material que pasa la malla N° 200 (0.075 mm) al que pasa la malla N° 40 (0.425 mm) en ninguno de los casos es mayor de 0.65, como lo marca la norma N CMT-4-02-001/04 de la SCT.

El material muestreado se encuentra dentro de la zona recomendable, la zona II a excepción del material virgen, cuya curva estuvo clasificada desde el banco en $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ ". En la tabla 5 se muestra la clasificación SUCS para cada material en cada muestreo.

Tabla 4. Clasificación SUCS, material del primer muestreo

MATERIAL	CLASIFICACIÓN SUCS	
	Muestreo 1	Muestreo 2
Base controlada	GC	GP-GC
3" a finos	GC	GP-GC
$\frac{1}{2}$ " a finos	GC	GC
Material virgen, $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ "	GW	GW

En cuanto al porcentaje de finos, en ambos muestreos fue menor al 25%, lo que sitúa al material dentro de las calidades "deseable" y "adecuada" de acuerdo a la norma.

Los valores obtenidos de límite líquido y de índice de plasticidad; indican que en general se trata de un material de baja plasticidad, esto se debe a que la fracción fina corresponde a un material arenoso. Lo anterior ubica al material muestreado, dentro de las calidades "adecuada" en el caso de

la base controlada y "revestimiento" en los demás casos.

En los dos primeros muestreos, las compactaciones fueron efectuadas al 95%, por lo que desafortunadamente se cae en una calidad para "revestimiento".

En la prueba de equivalente de arena, se obtuvieron calidades "deseable" y "adecuada" por el bajo porcentaje de finos.

En esta primera parte experimental, sólo la base controlada obtuvo un buen comportamiento en la prueba de Valor de soporte de California, ya que con los valores obtenidos se sitúa en la calidad "adecuada". No obstante, sus características varían notablemente en el segundo muestreo, ya que esta vez es el material de $\frac{1}{2}$ " a finos el que cae en esa categoría.

4.2 Segunda Etapa

El material muestreado en la segunda etapa también se situó en la zona II, excepto el material virgen.

A continuación se muestra en la tabla 6 la clasificación SUCS obtenida en los materiales.

Tabla 5. Clasificación SUCS. Muestreo, Etapa 2.

MATERIAL	CLASIFICACIÓN SUCS
Base controlada	GP-GC
Mezcla 1	GP-GC
Mezcla 2	GP
Mezcla 3	GP-GC
Mezcla 4	GP-GC

El porcentaje de finos, igual que en los primeros dos muestreos, es menor al 25%, por lo que tanto la base controlada como las mezclas se ubicaron en la calidad “deseable”.

En los resultados del límite líquido y del índice de plasticidad, la base controlada presenta una calidad “deseable” mientras que las mezclas cumplen con la calidad “adecuada”, debido a que el material es de baja plasticidad, adecuado para subbases.

Las pruebas de compactación se llevaron a cabo en todos los casos al 100% Proctor.

En el equivalente de arena, nos confirma que tanto la base controlada como las mezclas presentan un bajo contenido de arcillas, por lo que en todos los casos el material presentó una calidad “deseable”.

Finalmente, una prueba decisiva para la aceptación o rechazo de la base controlada o de las mezclas es el ensayo CBR, como podemos observar en la tabla 4, la base controlada y la mezcla 3 presentaron los mejores comportamientos, ubicándose en las calidades “deseable” y “adecuada”, respectivamente. En cuanto a las mezclas 1, 2 y 4, presentan valores cercanos al mínimo requerido para una calidad adecuada.

V. CONCLUSIONES

- Los impactos ambientales identificados presentan algunas características comunes entre los sitios, por lo que es posible realizar una metodología generalizada para los sitios de disposición inadecuada de RC&D.
- Los sitios afectados deben evaluarse y priorizar su rehabilitación en términos

de los que presentan los mayores impactos.

- Es necesario el desarrollo de un sistema de manejo integral para los residuos de la construcción y demolición en México en el cual se contemple el reciclaje de estos.
- En la primera y segunda etapa de experimentación los muestreos fueron realizados en diferentes épocas del año, por lo que las características del material se modificaron ligeramente.
- Lo anterior representa un cambio en las curvas granulométricas por consiguiente se obtienen variaciones en la resistencia de los materiales.
- Cabe resaltar que fue posible superar el 25% que establece la norma ambiental por un 100% de materiales reciclados, como es el caso de la mezcla 3.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en las dos etapas, es posible recomendar la Base controlada y la mezcla 3 en la construcción de subbases de caminos secundarios. Por lo que antes de utilizar estos materiales, se deben obtener sus propiedades índice y de calidad a fin de cumplir con la norma, teniendo en cuenta que la calidad de los materiales depende directamente del tipo de obra de que provengan los residuos.
- Es posible además recomendar estos materiales en la construcción de terraplenes, andadores o ciclopistas, lechos para tubería, bases de guarniciones y banquetas, revestimientos y rellenos y filtros para obras viales o pedraplenes.

VI. AGRADECIMIENTOS

A la UNAM por los conocimientos adquiridos durante la Maestría, a CONACYT por el apoyo económico brindado, y a las empresas GEOVISA S.A. de C.V. y CONCRETOS RECICLADOS, S.A. de C.V. por su valioso apoyo para la elaboración de este trabajo.

VII. REFERENCIAS

- Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, 2006. Norma Ambiental NADF-007-RNAT-2004.
- JICA, 1999. Estudio para el manejo de los residuos sólidos para la Ciudad de México. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (Vol. I) Kokusai Kogyo Co., LTD.
- Vega, Ricardo E., 2001. Tesis: Reciclaje y reaprovechamiento de residuos de la construcción y demolición. Posgrado en Ingeniería Ambiental, UNAM. México.
- Tchobanoglous, G., 1993. Integrated Solid Waste Management. Mc. Graw-Hill
- Canter, L. Manual de evaluación de impacto ambiental. Mc. Graw-Hill
- Juárez M., Miguel A., 2003. Tesis: Análisis de la base técnica de manifestaciones de impacto ambiental. Posgrado en Ingeniería Ambiental, UNAM, México.
- SEDESOL, 2004. Manual Micro Regiones. Programa de caminos rurales y alimentadores, Obras a contrato.
- SMA, D.F, 2002. Minimización y Manejo de Residuos de la Industria de la Construcción, Diagnóstico.
- SCT, 2004. N CTR CAR-1-04-002/03. Libro CTR Construcción. Tema: carreteras. Parte: conceptos de obra. Título: Pavimentos. Capítulo: subbases y bases.
- IMT, 1998. Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías de diseño y tendencias.
- IMT, 1990. ISSN 0188- 7114. Manual de Calidad de los Materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros.
- N CMT-4-02-001/04. Libro: CMT Características de los materiales. Parte: materiales para pavimentos. Título: materiales para subbases y bases. Capítulo: materiales para subbases.
- GEOVISA, 2006. Manual de procedimientos de laboratorio.
- Juárez M., Miguel A., 2003. Tesis: Análisis de la base técnica de manifestaciones de impacto ambiental. Posgrado en Ingeniería Ambiental, UNAM, México.
- Nicholas J. Garber, Lester A. Hoel, 2005. Ingeniería de tránsito y carreteras. Tercera edición. Editorial Thomson.

Sección 3:

Herramientas para la gestión de residuos sólidos

Análisis espacial de la generación de residuos sólidos residenciales en Morelia, Michoacán

Carlos A. González Razo¹, Otoniel Buenrostro Delgado², Liliana Márquez Benavides² y Juan M. Ortega Rodríguez³

¹Estudiante de la Maestría en Conservación y Manejo de los Recursos Naturales, Facultad de Biología, UMSNH;

²Instituto de Investigaciones Sobre los Recursos Naturales, UMSNH.;

³Facultad de Biología, UMSNH. Morelia, Michoacán México.

e-mail: razogca@yahoo.com.mx; otonielb@zeus.umich.mx; lili.marquez@gmail.com; jmor59@yahoo.com.mx

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo emplear los sistemas de información geográfica (SIG) para modelar y espacializar la generación de residuos sólidos residenciales (RSR), utilizando como estudio de caso la ciudad de Morelia, Michoacán.

Para el análisis se utilizaron dos bases de datos provenientes de estudios de generación realizados en los años de 1998 y 2004. Con base en el mapa de Áreas Geoestadísticas Básicas de INEGI (AGEB), de variables socioeconómicas y de producción de residuos sólidos se utilizó un SIG y un algoritmo genético para la modelación espacial de la generación de los RSR. La integración de ambas herramientas permitió la creación de modelos de zonificación de la generación de RSR mediante la correlación de los parámetros del punto muestreado, a otros sitios con condiciones similares dentro de la ciudad. Los resultados muestran una clara tendencia de diferenciación en la generación y composición de los RSR dentro de cada AGEB. La sectorización de la ciudad por estrato socioeconómico permitió dividirla solo en los estratos bajo y medio, ya que el alto no presentó diferencia significativa con el estrato medio.

El estrato bajo produce mayormente bolsa de película. El estrato medio, debido a su homogeneidad con el estrato alto, se subdividió en medio-bajo, intermedio y medio-alto; se producen con mayor significancia el Polietileno de Tereftalato (PET), papel, cartón, residuos de la construcción, vidrio, loza y cerámica.

Los SIG son una herramienta auxiliar en la integración de una serie de datos sobre generación

de residuos sólidos, además permiten evaluar y relacionar el ingreso económico con los patrones de generación de RSR en Morelia.

Palabras clave: Análisis; generación; residuos sólidos residenciales.

Abstract

This work had like primary target, the use of the Geographical Information System (GIS) to model the generation of residential solid wastes (RSW), using as a case study, the city of Morelia, Michoacán.

For the analysis two data bases of generation of RSW of the years of 1998 and 2004 were used. With base in the map of Geoestadistic Basic Areas of INEGI (GEBA), socioeconomic variables and of the production of RSW, a GIS and a genetic algorithmic for the spatial modeling of the generation of RSW were used. The integration of both tools permitted the creation of zoning models of the generation of RSW by the correlation of the surveyed point, to other similar points inside the city. The results allow observing a clear tendency of differentiation in the generation of the RSW between each one of the GEBA. The classification of the city into socioeconomic strata, showed only the low and medium strata. Since the high stratum did not present a significant difference with respect to the medium stratum. In the low stratum, the plastic bags were the predominant waste produced. Due to its homogeneity between the medium and the high strata, the former was subdivided into three categories: medium-low, intermedi-

ate and medium-high. The most significant waste produced in this area were the therephthalate polyethylene (TEP), paper and cardboard, as well as some products of the construction and the packaging like the glass, stoneware and ceramics.

The GIS are good tools for the integration of a series of data of solid waste generation, besides, it allows to evaluate and to relate the income with the generation patterns of RSW in Morelia.

Key words: Analysis; generation; residential solid wastes.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación por residuos sólidos (RS) es uno de los problemas ecológicos que más contribuyen al deterioro ambiental y de la salud pública en México. El crecimiento de la población y las actividades productivas, carentes de una planeación adecuada, han contribuido a que el volumen generado de residuos se incremente de manera notable de los años 50's a la actualidad (SEDUE 1996).

En el estado de Michoacán y en particular en la ciudad de Morelia, la contaminación por RS se ha agudizado notablemente debido al excesivo crecimiento urbano, lo cual ha rebasado los planes y programas de acción de las últimas administraciones municipales. Aunque se han implementado una serie de medidas que tienen que ver con estudios para caracterizar y cuantificar los residuos y que así se permita obtener un diagnóstico real de la generación de RS, los presupuestos se destinan en gran parte al servicio de recolección y la información que se genera se pierde en cada cambio de administración, o se encuentre dispersa en diferentes fuentes de información (Buenrostro, 2000). Aunado a lo anterior, el

Ayuntamiento se enfrenta a una serie de problemas que limitan su capacidad de acción como son los problemas políticos de las asociaciones de recolectores y pepenadores, infraestructura obsoleta y (H. Ayuntamiento de Morelia, 1999).

Por lo anterior es importante implementar un sistema eficaz de recolección que de pauta a mejores formas de manejo de los residuos, así como el optimizar el servicio con el fin de que se beneficien, tanto las asociaciones que ven su sustento económico en esta actividad con una disminución de costos de operación como sociedad por la ampliación en la cobertura del servicio y el medio ambiente, con una disminución de los residuos en los alrededores de la ciudad pues se habrán captado en su mayoría parando al sitio destinado a este fin.

El objetivo de este trabajo consistió en reunir en primera instancia la información proveniente de variables socioeconómicas más significativas, tomando como base la distribución espacial de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB), diseñadas por el INEGI para dividir la ciudad en estratos bajo, medio y alto. Posteriormente se realizó una caracterización de los residuos sólidos residenciales por estrato socioeconómico, de acuerdo con la norma oficial mexicana NMX-AA-061, para evaluar el grado en que inciden cada una de estas variables en los procesos de generación de residuos.

Los datos recolectados se trabajaron en conjunto por medio del programa estadístico JMP cuyo fin consistió en conocer si las muestras correspondían a un estrato en específico o si presentaban diferencias, para establecer la relación

entre las variables de subproductos resultantes con las variables socioeconómicas consideradas para el muestreo.

De esta forma, los parámetros resultantes, se trabajaron por medio de un SIG (Sistemas de Información Geográfica) utilizado como herramienta para la generación de una serie de mapas que muestran patrones de distribución de la producción de residuos sólidos residenciales con base en el estrato socioeconómico dentro de la ciudad. Los dos Softwares utilizados fueron ARC View 3.2 (ESRI, 1996) y un programa algorítmico para la predicción de población de una especie llamado Desktop Garp (Stockwell *et al*, 1999) a fin de modelar la distribución de la producción RS.

GARP es un algoritmo genético que permite integrar capas de datos socioeconómicos las cuales se utilizaron para crear modelos de zonificación de la generación de residuos mediante la correlación de los parámetros del punto muestreado, a otros sitios con condiciones similares dentro de la ciudad y así definir el lugar de ocurrencia de la generación (Stockwell *et al*, 1999).

ARC View es un sistema que trabajó con estos datos temáticos para convertirlos en datos espaciales georeferenciados y representarlos así en mapas vectoriales de la generación de residuos estableciendo su caracterización con el estrato socioeconómico en cuestión (ARC View Gis, 1996). Este programa accede a una fácil captura de información estableciendo modelos topológicos que permiten separar en estratos socioeconómicos a la ciudad. Se propone este trabajo como parte de una investigación que plantee estrategias de solución integrales encaminadas a promover

primeramente la viabilidad económica del manejo de los residuos y en segundo lugar la sustentabilidad ecológica de los recursos naturales.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis se utilizaron dos bases de datos provenientes de estudios de generación realizados en los años de 1998 y 2004. Estas bases contienen datos de generación de RSR por vivienda/día, composición de RSR (subproductos) y datos socioeconómicos (ingreso total mensual del hogar, número de habitantes por casa, sexo y edad de cada uno de ellos, escolaridad de los jefes de familia, régimen de propiedad de la casa y posesión de automóvil) por estrato socioeconómico (nivel de ingreso).

2.1 Análisis estadístico de los datos

Con los datos de generación de RSR por estrato socioeconómico, se elaboró una matriz y se analizó con el programa estadístico JMP Versión 3.2.2. (SAS Institute Inc.), para determinar si había diferencia estadísticamente significativa entre la generación de RSR y el estrato socioeconómico.

a) Análisis de correspondencia (AC)

Se utilizó el programa estadístico JMP para realizar el AC para comprobar si los datos de cada muestra (vivienda) caracterizaban a cada estrato socioeconómico.

b) Análisis de Componentes Principales (ACP)

Un Análisis de Componentes Principales (ACP) a las bases de datos de composición de los RSR fue utilizado para establecer los subproductos que mostraron diferencia estadísticamente significativa en cada estrato socioeconómico (alto, medio y bajo).

c) Análisis Univariado

Se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) a los datos de los análisis de generación (para observar el comportamiento estadístico de cada uno de los subproductos de manera separada). Al efectuar dicho análisis se percató que estos no experimentan una distribución normal ($P < 0.05$) pues los valores no muestran un equilibrio respecto a la media. Por lo tanto, las variables se evaluaron con la prueba no paramétrica de Wilcoxon/Kruskal-Wallis.

d) Análisis de Varianza Multivariado (MANOVA)

Con los subproductos que presentaron diferencia estadística, se realizó un análisis de varianza multivariado (MANOVA) para conocer si había diferencias estadísticas de las variables en conjunto en cuanto a generación de RSR en los estratos socioeconómicos.

e) Análisis estadístico de la relación entre los subproductos y las variables socioeconómicas

Los resultados del análisis de generación, de la aplicación de la encuesta y de las variables socioeconómicas de los AGEB, se conjuntaron para realizar otro ACP para conocer por medio de un gráfico la relación lineal existente entre los subproductos y las variables socioeconómicas.

f) Mapas de distribución potencial de los estratos

Los subproductos que caracterizaron la generación para cada estrato socioeconómico se integraron a un sistema de información geográfica (SIG), junto con las variables socioeconómicas consideradas y la cartografía espacial de las AGEB para

dividir la ciudad en estratos socioeconómicos. Las AGEB consideradas para el análisis fueron: 278-3, 097-A, 096-5 y la 196-3. Para lo anterior, se utilizaron los programas Arc View 3.2 (ESRI, 1996) y Desktop GARP (Stockwell et. Al., 1999). Para efectuar los mapas de distribución potencial de los estratos, se utilizó la base de datos de la cartografía espacial que tuvieron relación con las variables consideradas en el análisis de generación (escolaridad, régimen de propiedad y población económicamente activa). Las variables utilizadas de la cartografía fueron 26: 22 de población, tres de vivienda y una sobre el promedio de habitantes en las viviendas.

Como primera parte del análisis, se añadieron al software de ARC View los mapas con información cartográfica digital escala 1:10,000, en formato vectorial y como sistema de referencia se tomaron en consideración las coordenadas geográficas de latitud y longitud. Posteriormente, se integraron los AGEB previamente formateados de tal forma que se ubicaran los AGEBS dentro de cada estrato. Esto, con la finalidad de que la información temática coincidiera espacialmente para poder establecer relaciones. La información espacial se georeferenció con una misma superposición de los sistemas de proyección y de coordenadas. Se trabajó en formato vectorial con el objetivo de vincular los objetos de la cartografía digital con las variables socioeconómicas de las AGEBS. Básicamente el software Desktop Garp incluyó la zonificación mediante mapas con referencia geográfica (longitud y latitud) dentro de la ciudad, para lograr representar a los estratos bajo estudio, además de una

serie de variables socioeconómicas representativas a las AGEBS.

g) Análisis espacial de generación de RS con los SIG

Los datos de las AGEBS tomados en consideración se extrapolaron a las demás AGEBS para modelar la predicción de la distribución de los estratos socioeconómicos y de esta forma elaborar los mapas de generación de RSR, estableciendo su caracterización con el estrato socioeconómico en cuestión. De esta forma se corrieron los programas y se elaboraron los mapas de variables socioeconómicas, para relacionarla con el estrato socioeconómico y la generación de RSR.

III. RESULTADOS

Análisis estadístico de los datos (generación 1998)

a) Análisis de correspondencia (AC)

En la tabla 1 se muestran los resultados del AC. Los números en paréntesis indican el porcentaje de acierto en la predicción de las muestras con respecto al comportamiento observado en cada estrato socioeconómico. Los resultados indican que las muestras están caracterizando a toda la población con un nivel alto de significancia.

Tabla 1. Análisis de correspondencia para 1998.

Estrato	Bajo	Medio	Alto	Total
Bajo	33 (50.77)	20 (30.77)	12 (18.46)	65
Medio	17 (17.35)	63 (64.29)	18 (18.37)	98
Alto	7 (10.61)	25 (37.88)	34 (51.52)	66
Total	57	108	64	229
Prueba	Chi Cuadrada		Probabilidad > Chi Cuadrada	
Distribución de Probabilidad f	38.856		<.0001	

Pearson 41.153 <.0001

b) Análisis de Componentes Principales (ACP)

En la tabla 2 se muestran los subproductos que mostraron diferencias estadísticas, una vez que se efectuó el ACP.

Tabla 2. Subproductos que mostraron diferenciación por estrato socioeconómico después del ACP para 1998 (gramos preso fresco)

Subproducto	Estrato Bajo	Estrato Medio	Estrato Alto
Aluminio	56.5	571	104
Polietileno Alta Densidad	520	2833	1905
Polipropileno	214	870	429
Tierra	12590	3617	605
Papel Celofán	476.05	758.5	428

c) Análisis Univariado de Wilcoxon/Kruskal-Wallis

El Aluminio y el Papel Celofán no mostraron diferencia estadísticamente significativa entre los estratos ($P < 0.05$).

Para los casos del polietileno de alta densidad ($X^2=16.063$; g.l.=2; $P < 0.0003$), Polipropileno ($X^2=7.917$; g.l.=2; $P < 0.0191$) y la tierra ($X^2=37.417$; g.l.= 2; $P < 0.0001$), estadísticamente hay diferencia estadística entre los estratos ($P < 0.05$ para X^2) mostró ($X^2=16.063$; g.l.=2; $P < 0.0003$).

d) Análisis de Varianza Multivariado (MANOVA)

Los resultados de este análisis muestran que la generación de residuos sólidos sí presentan una diferencia estadísticamente significativa por estrato socioeconómico ($P < 0.05$). Ver tabla 3

Tabla 3. Resultados del MANOVA de la base de datos de generación de 1998

Prueba	Valor	Ap- prox. F	DF Num	DF Den	Probab > F
Wilks' Lambda	0.801	5.2117	10	444	<.0001
Pillai's Trace	0.204	5.0638	10	446	<.0001
Hotelling-Lawley	0.242	5.3586	10	442	<.0001
Roy's Max Root	0.214	9.5509	5	223	<.0001

e) Análisis estadístico de la relación entre los subproductos y las variables socioeconómicas

De nueve variables socioeconómicas analizadas, cinco mostraron relación con la producción de residuos. En la tabla 4, se muestra las variables socioeconómicas y de producción de residuos que presentaron relación.

Tabla 4.. Variables socioeconómicas y de producción de residuos que presentaron relación en el estudio de 1998.

Variables socioeconómicas	Subproductos
Numero de habitantes	Polietileno
Niños	Polipropileno
Posesión de automóvil	Tierra
Ingreso mensual	
Escolaridad del jefe de familia	

Caracterización de subproductos para el 2004

a) Análisis de correspondencia

Respecto al análisis de correspondencia efectuado para el 2004, los resultados permitieron identificar que las muestras se comportan de acuerdo con el estrato socioeconómico en el cual fueron tomadas. En la tabla 5 presenta esta relación.

Tabla 5. Análisis de correspondencia para el 2004

Estrato/Columna %	Bajo	Medio	Alto	Total
B	55 (73.33)	15 (20)	6 (5.67)	75
M	33 (25.98)	66 (51.97)	28 (22.05)	127
A	6 (9.38)	16 (25)	42 (65.63)	64
Total	94	97	75	266

Prueba	Chi Cuadrada	Probabilidad > Chi Cuadrada
Distribución de Probabilidad f	103.518	<.0001
Pearson	108.076	<.0001

b) Análisis de Componentes Principales (ACP)

En la tabla 6 se muestran los subproductos que mostraron diferencias estadísticas, una vez que se efectuó el ACP.

Tabla 6. Subproductos que mostraron diferenciación por estrato socioeconómico después del ACP para el 2004 (gramos peso fresco)

Subproducto	Producción Total por Semana (gramos)		
	Estrato		
	Bajo	Medio	Alto
Cartón	43639	50307	76722
Material No Separable	25200	9145	5667
Loza y Cerámica	5892	4825	2073
Papel	39461	65133	92365
Bolsa de Película	46885	37698	34716
PET	31875	33024	41987
Trapo	18116	11921	8997
Vidrio de Color	2799	18464	8319

b) Análisis Univariado

Los resultados de la prueba de Wilcoxon/Kruskal - Wallis a las variables de generación muestran que todas ellas presentaron diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$ para X^2).

Para el cartón ($X^2=41.7017$; g.l.=2; $P<0.0001$); el material no separable

($\chi^2=28.5777$; g.l.=2; $P < 0.0001$); loza y cerámica ($\chi^2=10.1731$; g.l.=2; $P < 0.0062$); el papel ($\chi^2=30.7383$; g.l.=2; $P < 0.0001$); la bolsa de película ($\chi^2=18.0353$; g.l.=2; $P < 0.0001$); el PET ($\chi^2=9.1556$; g.l.=2; $P < 0.0103$); el trapo ($\chi^2=16.9817$; g.l.=2; $P < 0.0002$) y el vidrio de color ($\chi^2=9.1556$; g.l.=2; $P < 0.0103$).

c) Análisis de Varianza Multivariado

Como en el caso de la base de 1998, los resultados de este análisis muestran que la generación de residuos sólidos sí presentan una diferencia estadísticamente significativa por estrato socioeconómico ($P < 0.05$).

Prueba	Valor	Ap- prox. F	DF Num	DF Den	Probab > F
Wilks' Lambda	0.673	7.0123	16	512	<.0001
Pillai's Trace	0.351	6.8264	16	514	<.0001
Hotelling-Lawley	0.452	7.1978	16	510	<.0001
Roy's Max Root	0.354	11.359	8	257	<.0001

d) Análisis estadístico de la relación entre los subproductos y las variables socioeconómicas

En la tabla 7 se muestran las variables socioeconómicas y de producción de residuos significativas al análisis.

Tabla 7. Variables que caracterizan la composición del 2004

Variables socioeconómicas	Subproductos
Numero de habitantes	Cartón
Adultos	Bolsa de película
Ingreso mensual	PET
Escolaridad	

e) Análisis espacial de generación de RSR con los SIG

De la figura 1 a la 8 se presentan los mapas que representan la generación de subproductos que caracterizan a cada estrato dentro de los AGEBS. En el caso de la base de datos de 1998 no se realizó el análisis espacial pues los datos socioeconómicos fueron incompatibles con la base de datos geográfica. Para el año de 2004, se construyeron los mapas para cada uno de los subproductos que caracterizan a cada uno de los estratos socioeconómicos.

ESTRATO BAJO

Material no Separable

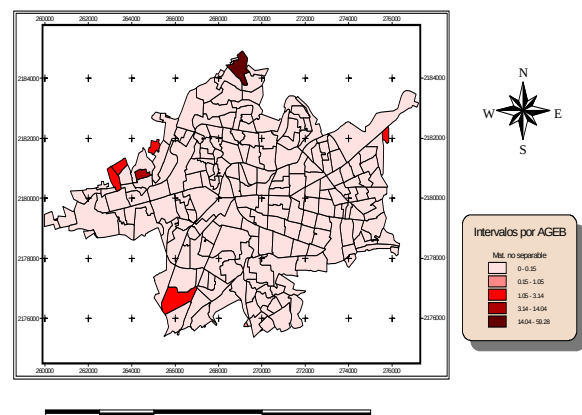


Figura 1. Mapa de generación de material no separable

Trapo

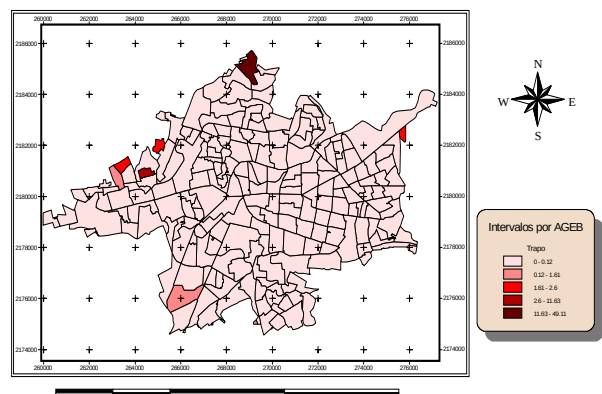


Figura 2. Mapa de generación de trapo

Bolsa de película

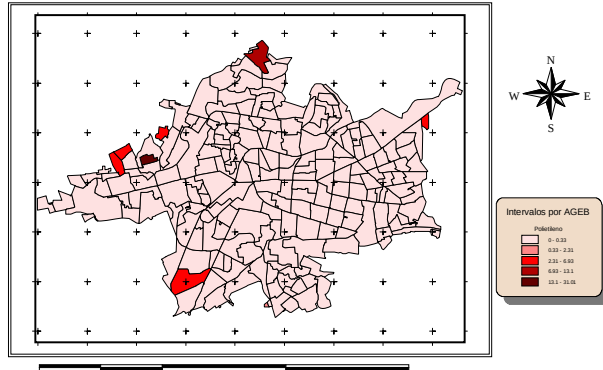


**Figura 3. Mapa de generación de bolsa de película
ESTRATO MEDIO
Vidrio de color**

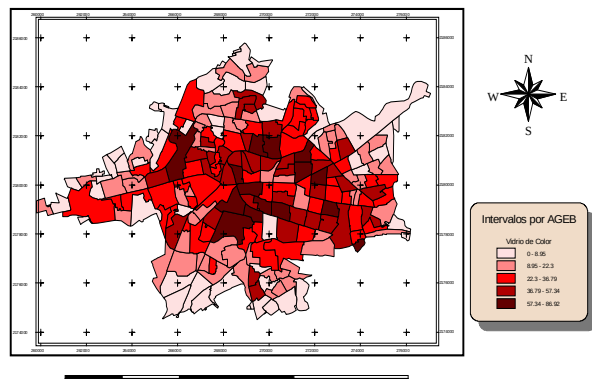


**Figura 4. Mapa de generación de vidrio de color
Loza y cerámica**

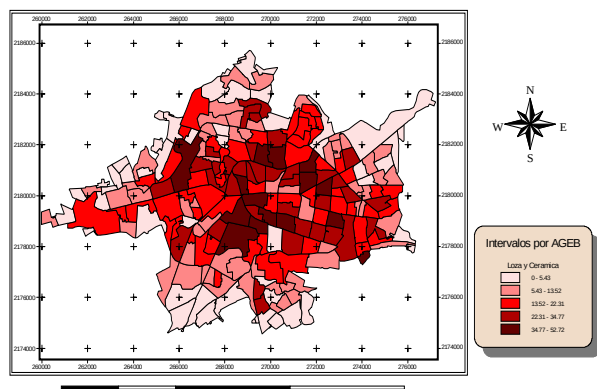


Figura 5. Mapa de generación de loza y cerámica

Debido a que la variables socioeconómicas de base de datos cartográfica en la que se basó el trabajo está a una escala mayor, con respecto a la diferenciación del ingreso que se hizo para el levantamiento de la encuesta socioeconómica del estudio de generación, impidió la diferenciación de los estratos socioeconómicos alto y medio. Por tal razón, se subdividió el estrato medio en estrato medio alto.

Papel

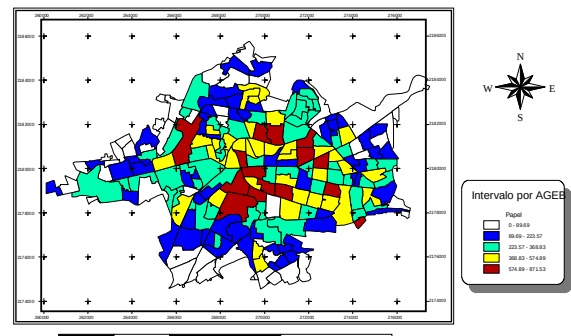


Figura 6. Mapa de generación de papel para el estrato medio alto

Tereftalato de Polietileno (PET)

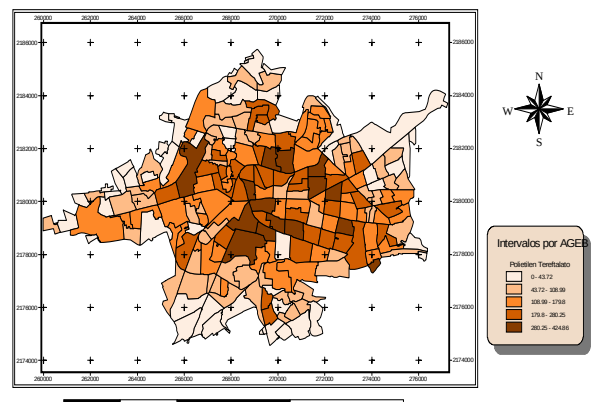


Figura 7. Mapa de generación de pet para el estrato medio alto

Cartón

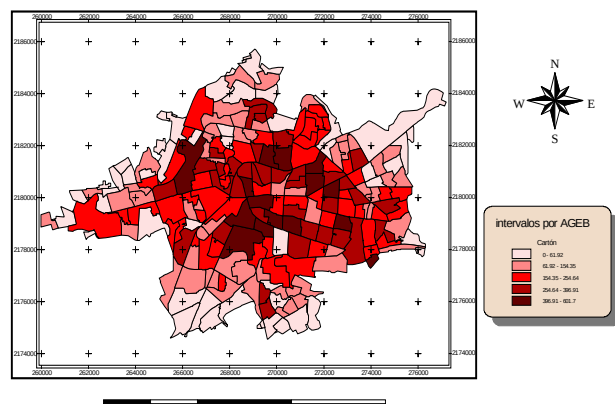


Figura 8. Mapa de generación de cartón para el estrato medio alto

III. DISCUSIÓN

Análisis estadístico para 1998 y 2004

Con base en el análisis estadístico efectuado de las muestras de los años 1998 y 2004, se percató que los subproductos no son los mismos que caracterizan a un periodo de muestreo y a otro. Existen productos que en el periodo de 1998 tenían mayor consumo y que ahora no aparecen de manera significativa. Se atribuyen estos resultados a la creciente urbanización, traducida ésta, en la modificación de los patrones de consumo que implica productos con un mayor nivel de industrialización (Buenrostro *et al.*, 2003).

Una característica distintiva para los dos periodos es el alto grado de subproductos reciclables que mostraron diferencia significativa en los estratos. PEHD, PP, PET, Cartón, Papel, Bolsa de película, y Vidrio de Color son subproductos reciclables que en la actualidad van tomando mayor importancia en la industria del embalaje, envasado y empaquetado.

Caracterización de subproductos para 1998

Análisis univariado

El aluminio tenía una mayor significancia en la producción para 1998 en el estrato medio, pues se utilizaba de manera constante, hasta el momento en que se comenzaron a utilizar otro tipo de materiales como los plásticos. Debido a los altos costos que implica su transformación y pese a que se abarata con la utilización de productos reciclables, está siendo sustituido por el Tereftalato de Polietileno (PET) que es un producto menos costoso de manejar y que aunado a esto también es un producto reciclable.

Respecto a la generación de plásticos, se observa que en 1998 se producían con mayor significancia el Polietileno Alta Densidad y Polipropileno y para el 2004 Bolsa de película y Tereftalato de Polietileno. La diferencia de utilización de un periodo a otro son las técnicas de procesamiento que se utilizan en la actualidad y los costos que implica. Aunque el polipropileno se utiliza en mayor proporción en la actualidad en la industria de los alimentos chatarra, el volumen que ocupa el Polietileno es mayor, por esto la diferencia de uno y otro.

Por otra parte, una característica de los pobladores de los estratos económicos bajos, es la tendencia a establecer colonias irregulares ubicadas en zonas marginadas carentes de servicios básicos como luz, agua, alcantarillado y obras públicas como pavimento o banquetas, además de la posibilidad de tener un determinado espacio utilizado como traspatio cuya cubierta carece de áreas verdes (Buenrostro, 2001). Se atribuye el que exista mayor cantidad de tierra en el estrato bajo debido a que muchas amas de

casa tienen la costumbre de barrer el frente de sus casas y su patios, motivo por el cual se concentra gran cantidad de tierra, misma que es depositada a los servicios de recolección.

Análisis de Varianza Multivariado

Para conocer si la generación de residuos representaba alguna diferencia entre un estrato y otro, se llevó a cabo una serie de múltiples pruebas estadísticas para poner a prueba la igualdad de las medias muestrales de los estratos socioeconómicos. Los resultados indicaron un porcentaje de significancia acorde para argumentar que los datos fueron confiables al momento de llevar a cabo la investigación de gabinete.

En el caso de las pruebas utilizadas para comparar datos de tres estratos con la misma forma y dispersión, se involucró una asignación de rangos a los datos como lo fue el estrato en el que se encuentran. Resultaría muy complicado el manejar muestras de estratos diferentes de manera separada, es por ello que el programa utilizado resulta muy útil para llevar a cabo trabajos de esta índole en la cual la composición de las muestras de residuos no varían significativamente o no pueden ser observadas a simple vista.

Análisis estadístico de la relación entre los subproductos y las variables socioeconómicas

La relación establecida entre las dos variables en cuestión, observada claramente en los diagramas de ordenación permitió asegurar que la generación de plásticos más elaborados se relaciona mucho con el ingreso, cuya inclinación se da hacia los estratos medio y alto. Esto significa que el mayor consumo de productos con mayor nivel de procesamiento está en las personas con ma-

yor ingreso económico. En el caso del estrato bajo, el diagrama permite observar una relación con la tierra, que en cierta medida refleja lo observado.

Los estudios de generación para 1998 y 20004 abarcaban un intermedio respecto al último censo elaborado por el INEGI en el año 2000; por lo tanto, la información espacial disponible tendría que corresponder a un solo año fue por ello que se decidió incluirla dentro del año 2004. Aunque en este lapso la ciudad de Morelia ha experimentado muchos cambios, no se contaba con la información suficiente como para poder espacializar la generación para 1998.

Caracterización de subproductos para el 2004

Análisis univariado

Los resultados del análisis muestran una clara diferenciación en la producción de residuos a través de los años. Para el año de 2004 son otros los subproductos que muestran diferencias significativas respecto a los reportados para 1998. El cartón aumenta su producción en el estrato alto. Entra en razón el factor económico en el que se tiene la tendencia a consumir en mayor proporción productos más costosos como electrodomésticos o artículos de línea blanca o simplemente se compra regularmente en grandes cantidades y es transportado en cajas.

Uno de los principales productos que se reciclan en México es el cartón. Este subproducto es vendido a intermediarios que a su vez lo ofrecen a grandes industrias las cuales le dan distintos usos; principalmente como cartón corrugado, teja negra utilizada en el techo de las casas o como cartón para embalaje.

En el caso del estrato bajo, produce más residuos no separables se debe a que los sistemas de aseo público no llevan a cabo el sistema de recolección de forma adecuada debido principalmente a que la ciudad de Morelia está experimentando un crecimiento demográfico excesivo, traduciéndose en colonias de tipo irregular, en donde se hace ineficiente el servicio de recolección. Este servicio no es constante en seguir una ruta diaria y trabajan de manera eventual en este tipo de zonas debido a las características de la topografía del lugar o lo relativo al aspecto económico. Es por esto, que la gente empieza a darle ciertos tratamientos a los residuos como la quema o empieza a acumularlos en masas de basura lo que imposibilitó su posible separación para el análisis de generación.

Otra de las causas que influye en los resultados sobre los subproductos que no se pueden separar, es el poco o nulo avance en términos de educación ambiental, pues a pesar de que los estratos con ingresos más altos tienen una escolaridad relativamente alta, ponen poca atención en llevar a cabo prácticas en casa como el compostaje o el reciclado, pues a pesar de que las conocen, no se preocupan por separar sus residuos y entregarlos al camión recolector de forma adecuada.

Igualmente, el estrato bajo es el que más produce bolsa de película. Lo siguiente obedece a los patrones de compra - venta; pues por un lado, la gente consume sus productos en su gran mayoría en puestos que se colocan una vez por semana, los cuales por lo general, proporcionan una bolsa por cualquier producto que se compre. Una explicación es que el plástico película no es costoso y por consecuencia no se cobra

(Buenrostro, *et al.* 1999). Cosa contraria ocurre con los estratos medios y altos que acuden a centros de autoservicio en los que trasladan los productos directamente de los carritos a sus automóviles. De alguna manera hay alguna relación de generación del cartón y la bolsa de película en los estratos socioeconómicos y esta tiene que ver con los patrones de adquisición de sus productos y el lugar donde los obtienen.

En el caso del papel, éste se presenta en el estrato alto y se relaciona con el mayor grado de escolaridad en este estrato. La mayoría de las viviendas tiene al menos un integrante de la familia estudiando, aunado a que muchas de las viviendas cuenta con apoyo en tecnologías más avanzadas como las computadoras, que una persona con escasos recursos es más difícil de adquirir.

Respecto a la producción de Tereftalato de Polietileno, las causas se relacionan al consumo de productos que están elaborados con este material y que están utilizándose con mayor auge, desplazando al vidrio y al aluminio.

La generación de trapo se atribuye a los patrones de ingreso en la cual es el estrato bajo el que produce más este material. Posiblemente tiene que ver con los patrones de ingreso, pues la gente con escasos recursos no cuenta con los medios suficientes para adquirir ropa de buena calidad y utiliza muchas de las veces ropa de segunda mano a la cual le da un uso intensivo asegurando un menor tiempo de vida. El tratamiento que le dan los otros estratos de mayor ingreso a sus prendas en la mayoría de los casos, es que cuando ya no la utilizan, no la desechan, sino que la donan a centros de acopio o la venden a los mercados de segunda mano.

El estrato medio produce más vidrio de color basado en productos desechables de algunas industrias como la cervecera principalmente.

Análisis de Varianza Multivariado

El análisis de Varianza demostró una diferencia significativa de un estrato con respecto a otro, lo que significa que los resultados fueron confiables para proyectar lo que sucedía en cierto estrato respecto a su generación.

Análisis estadístico de la relación entre los subproductos y las variables socioeconómicas

El análisis de correspondencia, por medio del cual se obtuvo un diagrama de ordenación. Los resultados del análisis estadístico mostraron que la estratificación socioeconómica de INEGI sí se corresponde con los patrones de generación y composición. Es evidente que la composición tiene relación con los patrones de ingreso, educación y registro familiar. Se manifiesta principalmente una tendencia de aspectos socioeconómicos como escolaridad, ingreso junto con la producción de papel y PET al estrato medio y alto.

Mapas de distribución potencial

Se demostró que existe diferencia en cuanto a la generación de RS entre los estratos socioeconómicos tomados en consideración; sin embargo, al momento de manejar los resultados con las variables socioeconómicas dentro de los AGEB que se consideraron en el estudio, como población económicamente activa y el de algunos servicios básicos, entre los que destaca, la presencia de drenaje, se observó una clara separación de los estrato bajo y medio, pero no fue clara

la separación a nivel de AGEB entre el estrato medio y alto.

Tal y como se caracterizó al estrato alto en el muestreo, éste arrojó una diferencia significativa de generación respecto a los otros dos estratos. No obstante, las variables socioeconómicas tomadas en consideración para el análisis espacial no permitieron mostrar una diferencia clara con el estrato medio. Es de resaltar que en la zona conurbana de Morelia; al igual que otras ciudades representativas de México, se localizan pequeñas porciones de un estrato localizado dentro de otro; tal es el caso de la muestra del estrato alto. En el muestreo de campo se eligió una zona que representara el estrato alto pero los criterios de las variables de INEGI con respecto a las cualidades del estrato permitieron observar que la ciudad, prácticamente no tiene AGEBS que lo caractericen de manera clara. Por lo tanto, se puede considerar como un estrato medio de carácter alto, pues las personas que habitan en estos AGEB los diferencia claramente del estrato bajo.

IV. CONCLUSIONES

La selección de las muestras en el estudio sí se corresponde con la estratificación de INEGI, excepto en el estrato alto, donde no es clara la diferencia debido a interpolación de los estratos en un mismo AGEB.

La generación de los residuos sólidos sí se relaciona con el ingreso socioeconómico de las viviendas, por lo tanto, la composición de los residuos sólidos es una variable que se puede espacializar para mostrar y explicar la distribución de los componentes de los residuos sólidos, de acuerdo con la es-

tratificación socioeconómica de INEGI (por AGEB).

Las variables socioeconómicas tomadas en consideración se pueden utilizar como bases de datos para la elaboración de productos cartográficos pues ayudaron a describir y ubicar los sitios posibles de composición de cierto subproducto.

En términos generales, el tipo de residuo encontrado refleja el ingreso socioeconómico de las viviendas.

La densidad de población del AGEB para cada estrato, relacionada directamente con el tamaño de la población, influye de manera directa en la composición de residuos debido a los patrones socioeconómicos como la educación y régimen salarial.

La zona centro de Morelia es donde se localiza la mayor parte de la población, produce con mayor significancia una cantidad más heterogénea de subproductos, con respecto a la periferia de la ciudad.

Debido a que los estudios de generación que se realizaron en los años de 1998 y de 2004 involucraron un periodo intermedio a los datos disponibles de productos cartográficos y material censal por AGEB elaborados durante el censo del año 2000. Fue inviable hacer una comparación espacial de composición de los residuos sólidos por estrato socioeconómico pues hubo que considerarlos solamente para un periodo.

Los resultados estadísticos permiten demostrar que la variación de los subproductos junto con la influencia de variables económicas, como el ingreso y el precio de las materias primas, inciden en la generación de los residuos sólidos.

La creciente urbanización, industrialización y hábitos de consumo son los parámetros

principales para demostrar como ha ocurrido procesos de cambio en la generación entre un año y otro.

La tierra representaba una significancia para el estrato bajo en el 98 y para el 2004 ya no lo era, el aluminio significaba una fuente en la industria del envasado y ahora es sustituido en el mercado por el PET.

Es significativo mencionar que los programas estadísticos son una herramienta auxiliar en el desarrollo e integración de una serie de datos, pues permitieron evaluar metodológicamente como se comportan los estratos con respecto a los patrones de generación de residuos en la ciudad temporalmente y además que variantes de composición presentan con respecto a su origen. Todo esto considerando su significancia y la desviación en la relación de los valores unos con respecto a otros.

En la actualidad, los SIG son una herramienta útil de análisis que permiten elaborar modelos sobre predicción de generación por estrato socioeconómico, pues hoy en día existen mayor disponibilidad de datos censales que pueden accederse, transformarse y ser manipulados interactivamente, de tal modo que permiten estudiar procesos ambientales o anticipar los posibles resultados de decisiones de manejo como el caso de los RS.

V. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH, a través del proyecto 5.9.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arc View Gis, 1996, Environmental Systems Research Institute Inc, Redlands, USA. 44 pp.
- Buenrostro D; O 2000. Los Residuos Sólidos Municipales. Clasificación de Generadores y Modelos de Generación Potencial. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. División de estudios de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D. F. 107 pp.
- Buenrostro, D.O 2001.Origen de la problemática que implica la producción de residuos sólidos en los Residuos Sólidos Municipales. Perspectivas desde la Investigación Multidisciplinaria. UMSNH. P.25-35.
- Buenrostro, O, Mendoza M, López E, Salinas V. 2003. Sectorización de las rutas de recolección de los residuos sólidos de la ciudad de Morelia, Michoacán. Morelia, Michoacán. 108 pp.
- Buenrostro, D. O, Bocco, G. y Bernache, G. (2001). Urban solid waste generation and disposal in Mexico. A case study. Waste Management & Research. 19,169-176.
- Buenrostro, D. O; Bernache, P. G; Cram, S. y Bocco, G. (1999). Análisis de la generación de los residuos sólidos en los mercados de Morelia (Solid waste generation análisis in markets of Morelia). Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 16 (1), 19-26.
- Devore, J. (2005). Probabilidad y Estadística para ingeniería y ciencias. Sexta Edición. Thomson Editores. México D. F. 794 pp.
- Fedra, K (1999). Urban Environmental Management: monitoring, SIG, and modeling (published in: Computer, Environment and Urban Systems. Environmental Software & Services GmbH A-2352 Gumpoldskirchen, Austria. 443-457.
- Forrester, J, Cambridge, H, y Cinderby, S. (1999). The value and role of GIS to planned urban management and development in cities in developing countries. Stockholm Environment Institute - York, University of York, YO10 5YW, UK. 6 pp.
- H. Ayuntamiento Morelia. 1999 – 2001. Programa de Desarrollo Urbano y Ecología de la Ciudad de Morelia 1998 – 2015. Versión integral. p. 2, 11 – 16.
- H. Ayuntamiento Morelia. 2002 – 2004. Plan de Desarrollo Municipal de Morelia. Morelia Michoacán 2002. 139 pp.
- H. Ayuntamiento de Morelia. 2004. Programa de Desarrollo Urbano del Centro de la Población de Morelia. II. Diagnostico. Morelia Michoacán 2004. p.1-4.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) 1975. Carta Edafológica 1:50,000. México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) 2000. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. Resultados preliminares, México. 375 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) 1975. Carta fisiográfica 1: 100 000; Carta Geológica 1:100 000; Carta Climática 1. 50 000.
- INE/SEMARNAP (Instituto Nacional de Ecología/ Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca). 1985. Norma Oficial Mexicana NXM-AA-22-1985. Diario Oficial de la Federación. Martes 7 de Noviembre de 1985. México 10 p.
- Israde, I. (1999). Lagos tectónicos y volcánicos en “la carta geológica del estado de Michoacán”. Edición Universitaria. Morelia, México. UMSNH. p.45-48.
- Israde, I; Garduño, D. 2004.La Geología de la Región de Morelia. Morelia, Michoacán, México 16 pp.
- JMP, 1985. Statistics Made Visual, Versión: 3.2.2. SAS Institute Inc. 1989-1997.

- Joshi, K, (2003) Municipal GIS Municipal GIS for Resource Mapping and Planning: A case study from Byass municipal area, Nepal. Baneshwore, Kathmandu, Nepal. 10 pp.
- Karadimas, Vassili G, Loumos y Ourania D. (2003). Quality of Service Ensuring in Urban Solid Waste Management. National Technical University of Athens, Zografos Campus, 15780, Athens, Greece 5 pp.
- Karagiannidis, N. Moussiopoulos, G. Diamandopoulos, K. Kaggelides and Perkoulidis, G, (2003). Simulation Modelling Software for Integrated Solid Waste Management at Regional Level a. Proceedings of the 8th International Conference on Environmental Science and Technology Lemnos Island, Greece, 8 - 10. pp. 346 - 352.
- Kiely, G. (2000). Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnología y Sistemas de Gestión. Ed. Mc Graw-Hill. Madrid, España.
- Lahti, P, Martamo, R, y Huhdanm, A. (1998) GIS-based toolbox for urban analysis (urban form, economics and ecology) communities and infrastructure. Cost C4 Final Conference, 1998 xxx-yyy. Finland. 13 pp.
- Matijieek, L, Benešová, L, y Tonika J. (2000). Environmental Modelling in Urban Areas with GIS. Institute for Environmental Studies, Charles University, Prague, 128 01, Czech Republic, 60-65.
- Marques de Cantú, M. J. 1988. Probabilidad y Estadística para ciencias Químico-Biológicas. UNAM. 657 pp.
- SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). 1985. Norma Oficial Mexicana NMX-AA-061-1985 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de la Generación. Environmental Protection Contamination - Municipal Solid Residues - Determination of Generation. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo. México, 104 pp.
- Stockwell, D, Peters. D. (1999). The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. Research article. Int. J. geographical information science. Vol. 13, no. 2, 143-158 p.e.
- Tchobanoglous, G. (1992). Gestión integral de Residuos Sólidos. Vol. I y II. Ed. Mc Graw-Hill. Madrid, España.
- UNU/IAS 2003. Urban Ecosystem Analysis. Identifying Tools and Methods. Shibuya-Ku, Tokio, Japón. 18 pp.

Una Aplicación de la lógica difusa para identificar perfiles de generación de envases por familia

Gabriela Lozano Olvera¹, Juan Ramón Castro Díaz¹ y Sara Ojeda Benítez² y Antonio Rodríguez Díaz³

¹ Estudiante de doctorado y ² Investigadora del Instituto de Ingeniería, ³ Profesor de la Facultad de Ciencias Químicas, UABC

Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal S/N,

Col. Insurgentes Este, C.P. 21280

Mexicali Baja California, México.

lozano@iing.mx y sara@iing.mx

Palabras clave Envases, Perfiles de generación, Composición de envases, Lógica difusa

Resumen

La sociedad del siglo XXI requiere de una enorme cantidad de satisfactores, los cuales son provistos a través de procesos de industrialización y comercialización, esto representa una explotación de recursos naturales y generación de envases en grandes volúmenes y de diversas composiciones. Los artículos que son puestos a disposición de los individuos para la satisfacción de una necesidad, al perder su valor o completar su vida útil, en un contexto social, quedan sujetos a un proceso de reclasificación; Es así que la basura, como un subproducto del desarrollo, confirma la crisis ambiental por la que atraviesa nuestra civilización y requiere de alternativas, por ello el objetivo de este trabajo es aplicar el método de cluster difuso sustractivo y lógica difusa Tipo 1 para identificar perfiles de consumo y generación de envases por familia en una vivienda, para contar con un sistema que nos permita tomar decisiones sobre el manejo y disposición de los envases generados, con esta herramienta se manejó y procesó la información de una base de datos generada de un muestreo de residuos domiciliarios realizado en la ciudad de Mexicali por estrato socioeconómico. Los datos utilizados fueron tomados del registro de la caracterización de los residuos generados en 123 viviendas, se cuantificaron los diferentes tipos de envases -metal, cartón, plástico, vidrio, etc.- encontrados en cada una de ellas, así mismo se incluyeron variables asociadas a la familia como son: escolaridad, número de habitantes por vivienda, tipo de familia, cantidad de

basura generada e ingreso. Las técnicas aplicadas en este trabajo son adecuadas para enfrentar problemas que hasta ahora resultaban difíciles o imposibles de realizar. Ya que permite manejar y procesar ciertos tipos de información en los cuales se manejen términos inexactos, imprecisos o subjetivos.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumo es uno de los grandes distractores de la sociedad, en el cual cada individuo trata de satisfacer sus necesidades de la forma más práctica posible. Esta actividad se ha convertido en una amenaza para la naturaleza. La producción de tantos bienes ha provocado problemas de excedentes. Que al consumir y desechar se convierte en un problema ya que multiplica el número de bienes que se necesitan producir y la manipulación de la naturaleza. Así mismo la generación de desperdicios es mayor que antes, debido que la economía de mercado ofrece mayor cantidad de productos desechables, en una gran cantidad de presentaciones, cuya utilización genera desperdicios que son arrojados a la basura: bolsas, latas, cartón, vidrio, plástico, madera, papel, aluminio, envases tetra-pack, entre otros.

El envase es indispensable en la sociedad moderna, ya que permite que multitud de productos lleguen a manos del consumidor intactos, en condiciones higiénicas correc-

tas y con información sobre la marca, el producto y su utilización. Sin envase, tanto para el cliente como para la industria, sería imposible utilizar la mayoría de productos que existen actualmente en el mercado.

Los residuos de envase representan alrededor del 17 por ciento en peso de los residuos sólidos urbanos y un tres por ciento del flujo total de residuos. (Ojeda, 2005) Este porcentaje ha sufrido un incremento importante en los últimos años, como consecuencia de los cambios en los hábitos de los consumidores y de las formas de distribución comercial, que han propiciado que los productos se envasen cada vez más y en cantidades más pequeñas (raciones individuales, unidades de producto, pequeños packs*, etc).

Es así que por mucho que nos disguste, no podemos prescindir de los envases porque facilitan el almacenaje y uso de la mercancía, protegen las cualidades intrínsecas del producto y garantizan que éste llegue con todos sus atributos al consumidor. Tal y como lo definió James Pilditch, el envase es el vendedor silencioso del producto; un poderoso instrumento de marketing que trata de incitar a la compra e informar sobre el producto y marca.

Hasta ahora el ser humano ha tratado de librarse de estos residuos al menor costo posible en términos de tiempo y esfuerzo, asumiendo en forma errónea que el destino de esos residuos que genera no es un problema para él, sino para las autoridades municipales.

* Un pack es una unidad múltiple es decir es un paquete del mismo artículo. Generalmente coincide con el envasado del fabricante, pero también puede ser una cantidad estimada por el consumidor para que su compra pueda resultarle más barata comprando ese número concreto de productos.

Los envases son objetos destinados a brindar servicios específicos como son contener, proteger, transportar y conservar un producto; por tanto su función dependerá de la manera en que habrán de satisfacer las distintas necesidades para las que han sido creados.

En este sentido Vidales (2003), señala que desde sus primeras apariciones comerciales hasta nuestros días, el envase se ha presentado como un elemento de gran utilidad dentro de la compleja red que se ha tejido para satisfacer muchas de las necesidades de los seres humanos. En este contexto es importante lograr una mejor comprensión de los conceptos de producto y envase.

El producto aparece como resultado de un proceso de manufactura que se presenta en condiciones de ser ofrecido como una mercancía, la cual apoyada por la publicidad, se presenta como un satisfactor de las necesidades o de los deseos.

Conocer sobre la generación y composición de los envases que están en el flujo de residuos domiciliarios representa un reto para los estudiosos de la basura. Por que la composición del material -constitución- de los envases, la función que tienen y el volumen que se genera entre otros implica proponer estrategias para analizar esta problemática.

En este sentido es importante buscar formas de analizar la problemática para presentar alternativas de solución, por ello las herramientas del campo de la computación pueden ser una alternativa para conocer y analizar esta problemática. Una de las herramientas es la lógica difusa la cual se vale de reglas para generar conocimiento de las bases de datos. Ya que las reglas son reconocidas como un medio efectivo e incluso natural para transmitir conocimiento entre los

humanos, tomar decisiones y justificar las mismas.

En el marco de la lógica difusa facilita los términos usados difusamente, es decir, inexactos, vagos o inciertos, son llamados variables lingüísticas (variable verbal).

La lógica difusa facilita el trabajo en este tipo de variables ya que posibilita el establecimiento de conjuntos con restricciones o límites elásticos que se mantienen vigentes para un universo de discurso dado en un momento determinado.

Uno de los problemas a los que se enfrentan los expertos es conocer tasas de generación y de composición, por ello es importante trabajar en herramientas que promuevan la generación de conocimiento utilizando las bases de datos que ya existen para extraer información y tener un mayor conocimiento de los comportamientos de generación que ya se han registrado.

Entre los residuos que se generan, se encuentra los envases por ello en este trabajo se aplica la lógica difusa para proponer un sistema que pueda proporcionar información respecto a los perfiles de generación por familia, para lo cual involucra variables cualitativas y cuantitativas, por ello esta herramienta es adecuada para generar información.

II. MATERIAL Y METODO

Para realizar este estudio se analizaron los resultados de una investigación realizada por Ojeda (2003) en tres colonias de la ciudad de Mexicali, las cuales fueron elegidas por su estructura sociodemográficas, en estas colonias se trabajó con los residuos que generan durante una semana por colonia, así mismo se aplicaron dos instrumentos los cuales arrojan la estructura familiar, hábi-

tos de consumo, y el nivel de conciencia ambiental que estos tienen.

2.1 Extracción de los datos

El muestreo estudio se llevó a cabo en tres fases. En la primera fase se aplicó una encuesta para conocer las características básicas de la familia como el número de integrantes, escolaridad, ingresos, etc.

La segunda fase consistió en la recolección de las muestras durante nueve días consecutivos, en las viviendas que aceptaron participar.

En tercera fase se aplicó otro instrumento, el cual nos proporcionó información de los hábitos de consumo que cada habitante por vivienda tienen, así como el conocimiento ambiental que estos tienen.

De las tres etapas realizadas se obtuvo la información que fue almacenada en bases de datos, que si diseñaron para ello y nos permitieron realizar un análisis descriptivo de los hábitos de consumo, estructura familiar y la generación de residuos, entre otros. Sin embargo en una primera fase las bases de datos no fueron explotadas en su totalidad, por lo que era necesario aplicar herramientas para obtener información contenido en las bases de datos.

2.2 Análisis de los datos.

Para el análisis de estos datos se llevó a cabo la validación de la información, para esto se aplicaron tres procesos de normalización a la base de datos existente, esto con el fin de que no existiera errores de captura ni redundancia en la información que pudiera llevar a una mala interpretación de la información.

Una vez realizada esta validación se aplicó la estadística básica (media, varianzas, correlación y análisis factorial), para identificar los diversos panoramas del comportamiento de los datos y encontrar las variables dependientes e independientes existentes, esto para lograr el objetivo propuesto que es el de encontrar perfiles de generación de envases por familia.

Identificadas las variables dependientes e independientes (número de habitantes por vivienda, escolaridad de los jefes de familia, estrato socioeconómico, tipo de familia, número de bolsas analizadas, y cantidad de empaques por material) se estructuró una nueva base de datos con la información necesaria para obtener los primeros perfiles de las familias. Para generar los datos de entrada y de salida, los primeros están definidos por número de habitantes por vivienda, escolaridad, estrato, tipo de familia y el número de bolsas analizadas, la variable de salida está constituida, por la cantidad y peso de los envases que se desecharon por vivienda, éstos se encuentran subdivididos tipo de material.

Una vez analizada la información se hizo uso de la herramienta Fuzzy Logic Toolbox (FLT). Esta es una herramienta para desarrollar programas difusos de manera amigable en el ambiente de matlab. Para esto se utilizó la gráfica llamada FIS (fuzzy Inferente System) la cual permite construir, editar y observar las inferencias difusas dentro de un FLT.

El funcionamiento del editor FIS se muestra en la figura 1. En esta figura se muestra la secuencia del proceso de los datos con la herramienta de lógica difusa, la matriz de datos se preprocesa es la entrada al sistema fuzzy y se somete a un proceso de

agrupamiento (cluster), el cual genera nueva información que permite generar reglas.

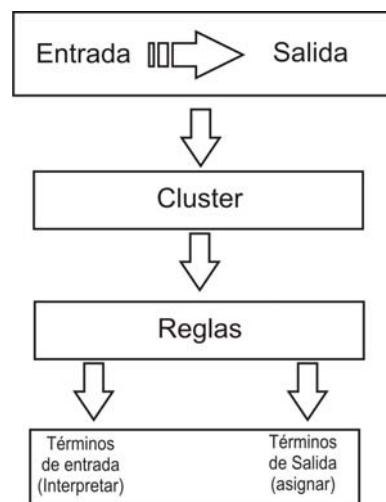


Figura 1 Función del editor FIS

El uso de reglas atiende a una visión especial acerca del conocimiento y forma en que este puede ser representado. Usar reglas implica formas particulares de concebir a los problemas y de resolución de los mismos. (Ver figura 2.)

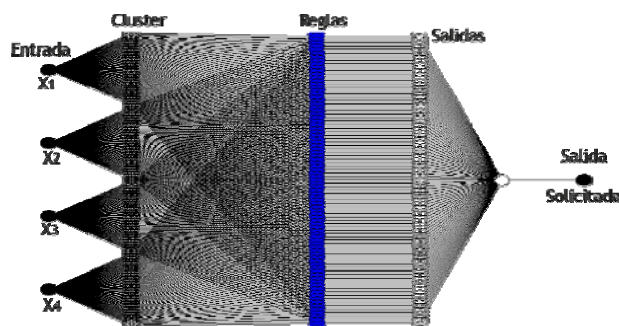


Figura 2 Etapas de generación de nuevo conocimiento

Después de obtener las reglas se utilizó el método de lógica difusa para evaluar el sistema basado en reglas que se generó anteriormente y así obtener una salida, esta herramienta nos permite evaluar las variables que se consideran inexactas o inciertas.

La lógica difusa facilita el trabajo con este tipo de variables ya que posibilita el esta-

blecimiento de conjuntos con restricciones o límites que se mantienen vigentes en un universo dado. Es por ello que se aplicó a este trabajo, ya la familia tiene una estructura y composición difícil de definir, estas varían constantemente, y se ve reflejado en los integrantes de cada familia.

En este trabajo una de las variables consideradas como difusa fue el estrato socioeconómico y escolaridad. Al evaluar los estratos nos referimos a los niveles económicos con los cuales una familia logra satisfacer sus necesidades. Para esto se define como una variable incierta, ya que es importante evaluar cada uno los elementos que forman parte de este universo.

III. RESULTADOS

Para esta estudio se analizaron 123 viviendas, y se muestrearon un total de 850 bolsas, de las cuales el 26% de ellas pertenecen al estrato bajo, el 48% al medio y el 25% al estrato alto.

3.1 Composición de los envases

El peso de los envases analizados fue de 527.13 kg, que correspondían a un total de 10,118 envases recolectados. En la tabla 1 se muestran las diferentes categorías y sus porcentajes en cada uno de ellos.

Tabla 1 Promedio de cantidad de envases muestreados por estrato socioeconómico

Material del Envase	Estrato		
	Bajo	Medio	Alto
Plástico	25	49	26
Cartón	18	43	39
Metales	23	44	33
Vidrio	19	35	47
Tetrapak	23	48	29
Papel	37	41	22
Otros	13	42	44

Plastificado	23	51	26
Foam	29	58	13

Como se puede observar el plástico es uno de los envases que tiene mayor frecuencia, seguido por el cartón y metales. En la figura 3 se presentan las categorías de uso de los diferentes tipos de envases.

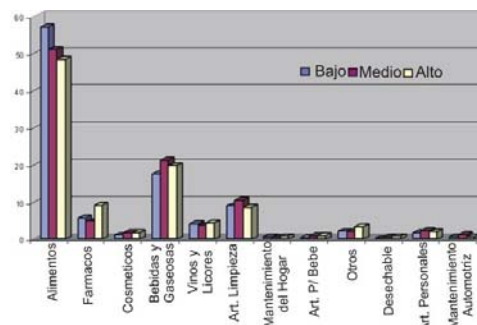


Figura 3 Categorías de uso de los envase

Como se puede observar la categoría de alimentos es la que tiene mayor frecuencia en la generación de envases, ahí se puede encontrar todo tipo de material en diversas presentaciones y pesos.

3.2 Estructura familiar

Al analizar los perfiles familiares se consideró el tipo de familia que habita en la vivienda (nuclear, monoparental y extendida), se encontró que del total de viviendas el 49% corresponden a familias nucleares, el 12% monoparentales y el 39% extendidas.

Otra variable que se incluyó fue la escolaridad, la cual se analizó como un conjunto difuso, ya que se evaluaron cada una de los niveles de escolaridad, así como aquellos niveles que se reportaron por los miembros de la familia como inconcluso.

Para el análisis de la variable escolaridad se generó una función membresía, con el propósito de evaluar cada una de las situaciones difusas que puedan presentarse en el

universo. En la figura 4 se presenta la función membresía de la escolaridad.

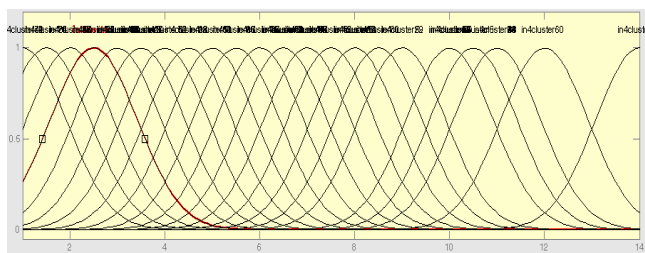


Figura 4 Representación grafica de la función de membresía

Esta función presenta gráficamente todas las funciones que pertenecen a la variable activa. Esta es representada por una función gauseana, que nos permite evaluar cada uno de los niveles de escolaridad, así como los niveles de escolaridad inconclusos. Ver ecuación 1

$$\mu_A(x) = e^{-k(x-m)^2} \quad \text{Ecuación (1)}$$

En la función de membresía el valor de x corresponde a todos los niveles de escolaridad evaluados (1 al 6) y m representa los valores medios. Este tipo de análisis nos permitirá evaluar de forma detallada cada una de las situaciones que se presenten.

3.3 Perfiles de Generación

Una vez analizadas cada una de las variables, tanto de generación de envase, como características generales de las viviendas, se prosiguió a generar una matriz, en donde se concentra toda la información de cada vivienda en cuanto a la familia que la habita como a la cantidad de envases que genera. Ver tabla 2

Tabla 2 Matriz de datos de entrada y de salida

ID de la Vivienda	Número Bolsas	Tipo fam	Num hab	Esc	PLAS	CAR	METAL	VIDRIO
	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
100	9	1	3	3	45	15	21	4
102	7	3	6	2	32	5	8	1
103	8	3	5	14	34	11	49	3
104	8	1	3	8	18	7	3	0
105	6	3	4	4	31	7	8	0
106	9	1	4	1.5	96	8	20	8
200	8	1	5	10	23	4	8	4
201	5	1	4	5.5	40	11	12	2
203	5	3	5	2	37	14	18	2
204	5	2	4	5	40	7	6	0
205	6	3	7	5	36	9	13	3
206	7	1	4	11	50	10	9	2
301	5	1	4	10	22	11	3	2
302	6	3	3	11	55	23	48	20
303	9	1	4	3	56	20	7	3
306	6	1	5	11	37	20	19	2
320	8	1	7	11	80	47	28	5
321	7	3	8	11	64	21	22	6

En la tabla 2 se definen cuatro variables de entrada (X_1, X_2, X_3, X_4), las variables de salida están conformadas por $Y_1, \dots, Y_n$, éstas representan los datos que esperamos obtener al evaluar las características de familias con su tipo de residuos que genera. Con esta matriz o base de datos se prosiguió a evaluar cada una de las variables con su generación. Ver figura 4

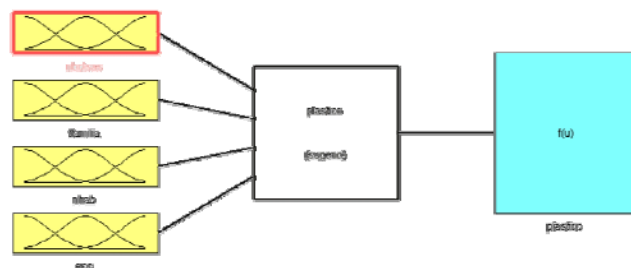


Figura 4 Caja de herramientas de Lógica difusa de Matlab

En la figura 4 se observan las variables de entrada (x_1, x_2, x_3, x_4) que se le dan al sistema, y en base a los agrupamientos y reglas definen una salida. Una de las desventajas de este proceso es que sólo tienen una salida, por lo cual el proceso se repite para cada una de las salidas que el usuario requiere.

ra, en este caso se solicitan cinco salidas ($Y_1...Y_5$).

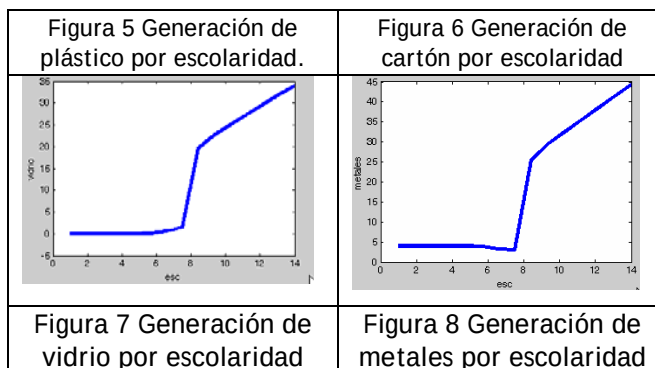
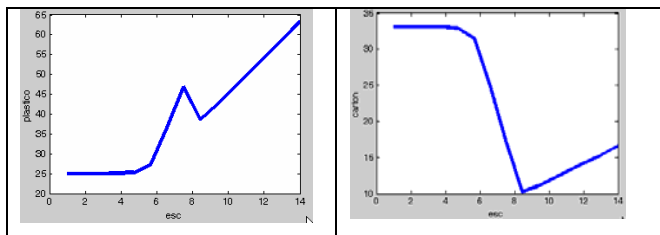
Este proceso repetitivo no tendrá que ejecutarlo el usuario, ya que se trabaja en la plataforma de usuario, lo que le permite ejecutarlo una sola vez.

3.4.- Análisis de Perfiles de familia con generación de envases.

Una de las ventajas de utilizar la lógica difusa es la facilidad de analizar o cruzar información que probablemente con la estadística descriptiva, sería complicada. El alcance que da la herramienta FIS es de evaluar cualquier posible situación que se presente en las variables de entrada. Al generar el proceso de reglas y de clusterización se está generando conocimiento, que al ser solicitado por el usuario, este sistema puede inferir en los datos y obtener una resolución a su petición.

Al analizar las variables que definen los perfiles de la familia con su generación de envases se encontró que la variable escolaridad de los jefes de familia es importante ya que, esta variable define gran cantidad de datos con respecto a la generación de empaques, que son los principales clientes.

En las figuras 5, 6, 7 y 8 se observa la generación de plásticos, cartón, vidrio y metales de las viviendas tomando como variable la escolaridad de los jefes de familia.



En estas graficas se observa como el plástico, metal y vidrio se generan con mayor frecuencia en las viviendas que tienen mayor escolaridad a partir de un nivel de media superior. El cartón por lo contrario es un tipo de envases que se utiliza más por los de menor grado de escolaridad.

Al evaluar el peso del plástico con el estrato socioeconómico se encontró que el comportamiento de los datos es muy diferente que al evaluar las frecuencias de los envases. Pues para evaluar los pesos es importante considerar otros factores o variables de las familias, como el ingreso, frecuencia de compras, presentaciones de los productos, etc.

En la Figura 9, se observa que la generación de plástico es mayor, excepto en el estrato alto, en el que se genera una cantidad similar para las categorías de metales y vidrio. También se observa que en promedio el estrato alto genera un mayor peso en los envases.

Al analizar la generación de envases en el estrato alto se puede notar que la mayoría de estos se compran en empaques con presentaciones grandes (2 lts, 5 kl, etc) por lo tanto los pesos son mayores, pero las frecuencias en las que se desechan esos envases son mas largos, al contrario que el estrato bajo, en donde se encuentran envases

de presentaciones chicas. Por lo tanto generan mayor cantidad de estos artículos y con poco peso.

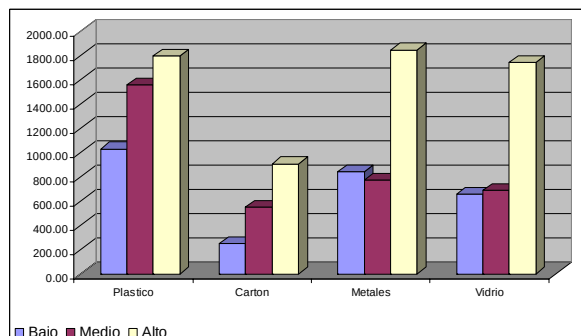


Figura 9 Promedio de generación con respecto al peso de los envases

En la figura 10 se presenta la evaluación del plástico con 2 variable de tipo familiar, como los son el numero de habitantes y el tipo de familia.

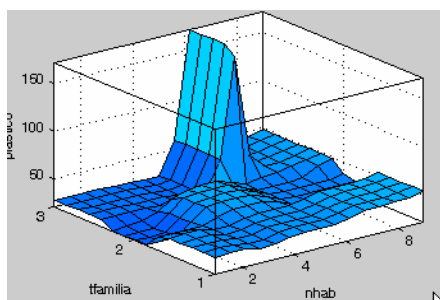


Figura 10 Generación de plástico considerando tipo de familia y número de habitantes

En la figura 10 se presenta la generación en las familias extendidas con un número de habitantes se concentra una gran generación de plásticos.

IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Sin duda la composición de los RSD depende en gran medida de los niveles y patrones de consumo de una población, se puede decir que existe una correlación muy directa entre la composición de los residuos generados y las condiciones de las familias. Schiffman y Kanuk (2005) señalan que la familia se considera una variable cambiante ya que por un solo integrante que falte en una vivienda, los patrones de consumo y de desechos se pueden ver alterados.

Sin duda los residuos de envases domiciliarios se ven afectados, al generar un ajuste en la familia, por ejemplo si se integra a la familia un bebe, la generación de envases además de aumentar se agregan nuevos materiales de desechos, como son los pañales, de la misma forma si un integrante de la familia se retira de la vivienda, la composición cambia, posiblemente en peso o en frecuencia, es por eso que es importante contar con una herramienta que tenga la posibilidad de evaluar cualquier situación que pueda ocurrir en el núcleo familiar, ante cualquier cambio que exista, tanto físico como intelectual. E incluso que pueda predecir ante cualquier cambio que pueda ocurrir en un futuro con la familia.

V. REFERENCIAS

- Buenrostro D. O. 2001. Los residuos sólidos Municipales: Perspectiva desde la investigación multidisciplinaria, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Situación actual de los residuos sólidos en México.
- Diaz, L.F., G.M. Savage, and C.G. Golueke, 1992. Resource Recovery from Municipal Solid Wastes: Vol. 1, Primary Processing. CRC Publishers Inc., Boca Raton, Florida, USA.
- Lasaridi, K.E. and E.I. Steniford, 1998. A Simple Respirometric Technique for Assessing Compost Stability. Water Resources 32, 3717-3723.
- Moreno, Juan E. Castillo, Oscar Castro Juan R. (2006) Minería de datos para la extracción de reglas if-then haciendo uso de la lógica difusa basada en los
- FIS de Mamdani y Takagi-Sugeno Kang". IEEE-Computational Intelligence Society Mexico Chapter. Proceedings of International Seminar on Computational Intelligence ISCI 2006. pp. 62-68. Tijuana, Mexico.
- Ponce R.A. (2005) Extracción de reglas en redes neuronales difusas, un modelo basado en la discretización de los conjuntos difusos de entrada (propuesta del modelo BCD), Universidad Autónoma de Guadalajara
- Pohland, F.G., 1986. Sanitary Landfill Stabilization with Leachate Recycle and Residual Treatment. EPA-600/2-75
- Schiffman y Kanuk, 2005. Comportamiento del Consumidor, Mexico, ed Pearson Educacion

Observatorios Urbanos oportunidades para el monitoreo ambiental: residuos sólidos

Rosa Imelda Rojas Caldelas, Elva Alicia Corona Zambrano
Universidad Autónoma de Baja California.
Mexicali, Baja California, México
email: rosa_rojas@uabc.mx y elvalicia@uabc.mx

Resumen

Las ciudades concentran alrededor del 50% de la población mundial y se estima que a futuro ésta tenga primordialmente un perfil urbano, a ello se suma la importancia de las ciudades en la generación del Producto Interno Bruto. El lado negativo se refleja en la problemática social y ambiental derivada de las actividades productivas y domésticas, aunado a la carencia de información específica que existe sobre las ciudades. En este sentido Naciones Unidas crea el proyecto de monitoreo urbano a través de la Red Global de Observatorios Urbanos, proyecto al que se incorpora México desde 2005. Así el Observatorio Urbano Local de Mexicali genera información que es útil para la evaluación y seguimiento de políticas públicas, donde el apartado de indicadores ambientales de la Agenda Hábitat de Naciones Unidas y de la Local trata el tema de residuos sólidos. Primeramente, muestra el análisis comparativo nacional de los indicadores de cobertura del servicio de limpia y producción anual de residuos. Mientras que la Agenda Local identifica y jerarquiza el problema de residuos captado a través de la percepción de la gente involucrada en el proceso de toma de decisiones municipal, información de utilidad en el diseño de indicadores y políticas públicas.

Abstract

Towns concentrate around 50% of world-wide population and the trend is oriented to underline an urban profile of population. In addition towns have become important for their economic contribution to the Gross Internal Product. The negative side of them is environmental and social impacts as a result of productive and domestic activities, besides the lack of data that is available of them. In order to overcome these shortcomings, United Nations have created a project of urban monitoring

throughout the Global Network of Urban Observatories, where Mexico has jointed to the project in 2005. The Local Urban Observatory of Mexicali has the purpose to produce information of the town useful to design public policies, where there is a set of environmental indicators in the United Nations Habitat Agenda, which includes solid wastes. Therefore this paper deals with two topics; firstly, from the Habitat Agenda a comparative urban analysis of waste production and coverage of urban recollection of domestic wastes services; secondly, from the Local Agenda the identification and ranking of environmental problems according to public perception coming from people involved in the municipal decision making process, conclusions that will be used to design local indicators and public environmental policies.

Palabras clave; Observatorio urbano, indicadores ambientales, indicadores residuos sólidos, monitoreo ambiental urbano.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el perfil de la población se ha modificado de rural a urbano, tendencia que se estima va a continuar a futuro, lo que significa que casi el 50% de la población mundial vive actualmente en ciudades (UNEP, 2006) de diferente rango, porcentaje que en América Latina llega al 75% y que para el caso de Baja California es ligeramente mayor. La concentración de población y rápido crecimiento de la misma junto con el cambio en patrones de consumo e incremento en la producción per cápita de residuos, genera demandas por servicios públicos urbanos y de la infraestructura necesaria para tratarlos y

disponerlos, que no crecen con la misma rapidez y que acarrear fuertes rezagos difíciles de revertir para los ayuntamientos, de ahí que en consecuencia se tengan problemas de cobertura de población y calidad en los servicios, tal es el caso de los residuos sólidos urbanos.

A pesar del progreso obtenido en materia de estadísticas, la OECD (2005:19) señala que todavía la información que se registra sobre generación y disposición de residuos en muchos países es limitada, donde se trabaja hacia el establecimiento de sistemas de monitoreo que registren apropiadamente el flujo de los residuos, las prácticas de manejo y su dinámica en el tiempo. Información que demanda del establecimiento de metodologías que permitan a nivel internacional la comparabilidad de los datos, las que a su vez faciliten la construcción de la línea de tiempo de los residuos. Asimismo se plantea la necesidad de mejorar los registros de información de la industria y de los residuos peligrosos, aunado al desarrollo de indicadores que muestren los esfuerzos de minimización de residuos y en particular de las medidas de prevención impulsadas por los diferentes sectores.

Este problema no es ajeno a lo que sucede en México, donde sobre los temas ambientales se cuenta con escasa información en las dependencias gubernamentales federales, estatales y locales, la cual sea generada en forma sistemática, periódica y accesible para consulta pública. Este tipo de información data de mediados de los noventa impulsada por INEGI (1995) e INEGI (1998) cuyo nivel de agregación corresponde con entidades federativas. También se cuentan con anuarios estadísticos estatales y municipales, los que reportan un número escaso de variables, así los registros urbanos son prácticamente inexistentes.

Información necesaria tanto para la elaboración de diagnósticos como para el diseño de políticas públicas y estrategias que orienten a diferentes actores en la promoción del desarrollo urbano y la protección al ambiente.

Dentro de este marco se plantea la necesidad de contar con información sobre las ciudades, proyecto que surge a iniciativa de Naciones Unidas Hábitat y que se concreta en la Red Global de Observatorios Urbanos, cuyos objetivos entre otros son: generar información sobre las ciudades en los temas derivados de las agendas internacionales de Hábitat (Asentamientos Humanos), Agenda 21 (Medio Ambiente) y Milenio (Pobreza en Asentamientos Precarios). Información que se concreta en indicadores que permitan por un lado, dar seguimiento a las ciudades y evaluar el desempeño de las políticas públicas. Además de promover la participación de los diferentes actores locales en la toma de decisiones y del acceso y transparencia de la información al público. Información que permita la comparabilidad de las ciudades a nivel mundial. La red está integrada en tres niveles: global, regional y local. La agenda internacional cubre los aspectos de; vivienda, desarrollo social, manejo del ambiente, desarrollo económico y gobernancia (SEDESOL, 2007), mientras que localmente se promueve la definición de la propia agenda en función de los problemas y temas de interés de cada ciudad. Resultado de ello es el proyecto de Observatorio Urbano Local de Mexicali.

Por tanto el propósito de este trabajo es presentar los resultados de la Agenda Local sobre residuos sólidos urbanos dentro de la temática ambiental definida por los actores locales, así como la prioridad asignada, los problemas, posibles causas y soluciones. Información que facilitará la construcción

de indicadores en la siguiente fase del proyecto.

1.1 Residuos sólidos urbanos

El panorama de la generación de residuos a escala internacional señala que una de las principales preocupaciones se sitúa en el impacto potencial que puede tener el manejo inapropiado de los residuos en la salud de la población y de los ecosistemas por la contaminación del suelo, agua, calidad del aire, valor y uso del suelo y calidad del paisaje. A pesar del logro que han tenido varios países en el reciclaje de residuos, se estima que todavía las cantidades que se van a disposición final están en aumento sobre las tendencias en la generación de residuos. Lo que lleva a preguntarse si las capacidades de dotación de infraestructura crecen al mismo ritmo y las inversiones suficientes para su tratamiento y disposición final. Por otra parte, cada vez es más difícil localizar los sitios y contar con la aprobación de la población para la construcción y operación de esta infraestructura, ya que nadie desea tener un relleno sanitario o incineradora próxima a su lugar de residencia.

Este entorno ha llevado también a la reflexión sobre aquellas acciones que refuerzan las medidas de reducción de la generación de residuos, especialmente para la prevención y reciclado, y otras hacia el manejo del ciclo de vida de los productos. Lo que implica la internalización de costos por manejo de residuos en los precios al consumidor por los bienes adquiridos y de los encargados del manejo de los servicios de recolección, tratamiento y confinamiento de estos.

Internacionalmente los indicadores clave usualmente empleados se refieren a la cantidad de desechos municipales generados y a la producción de residuos per cápita y cobertura del servicio de

recolección de residuos que para el caso de los países miembros de la OCDE presentan el siguiente comportamiento.

Los datos de la figura 1 muestran que existe una relación entre niveles de desarrollo y generación de residuos municipales, debido entre otras causas al crecimiento económico de los países y a cambios en los patrones de consumo que han llevado a elevar las tasas de generación per cápita, tendencia que pareciera va a mantenerse como lo indica OECD al mencionar que ha habido un incremento en la generación de residuos sólidos municipales de 570 kg/hab/día (OECD, 2005: 18), encontrándose diferencia dramáticas entre algunos países como México con alrededor de 300 kg y Estados Unidos con casi 800 kg.

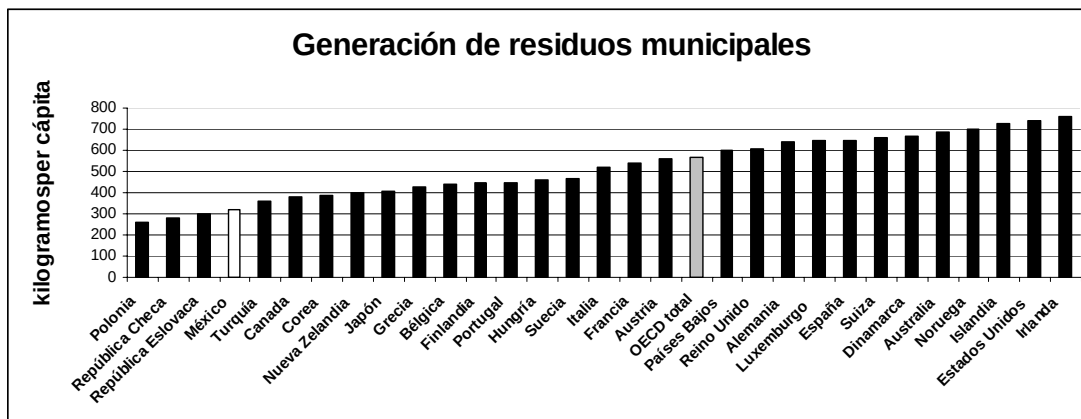
Desde el punto de vista del servicio de recolección de residuos, éste muestra una tendencia positiva hacia lograr mayor cobertura como se aprecia en la figura 2, no obstante los datos dejan entrever que los déficit de cobertura significan que un porcentaje puede disponer inadecuadamente de los residuos dentro de sus hogares o en sitios no aptos para ello, como es el caso en México de los basureros clandestinos.

En el caso de los países latinoamericanos UNEP (2002) reporta que para los setenta la producción de residuos sólidos era de 0.20-0.50 Kg./hab./día, mientras que para el 2000 fue de 0.92 Kg./hab./día y las coberturas del servicio de recolección se estimaban en 90%, donde enfatizan que el problema radicaba más en la eliminación adecuada que representaba solamente el 43% de los residuos.

En México el comportamiento que experimentan estas dos variables habla por un lado, que las tasas de generación de residuos sólidos urbanos y de residuos peligrosos crecen por arriba de las tasas de crecimiento de la población, lo que habla

de un incremento en la generación per cápita. Al igual que en el ámbito internacional los datos de cobertura siguen el mismo comportamiento (tabla 1). En lo que toca a las ciudades de la zona fronteriza y el D.F. destacan del resto de

regiones del país por la alta generación que tienen de residuos sólidos municipales per cápita que en 2005 fue de 1.048 kg/hab/día, mientras que la zona sur fue de 0.697 kg/hab/día (INEGI, 2007).

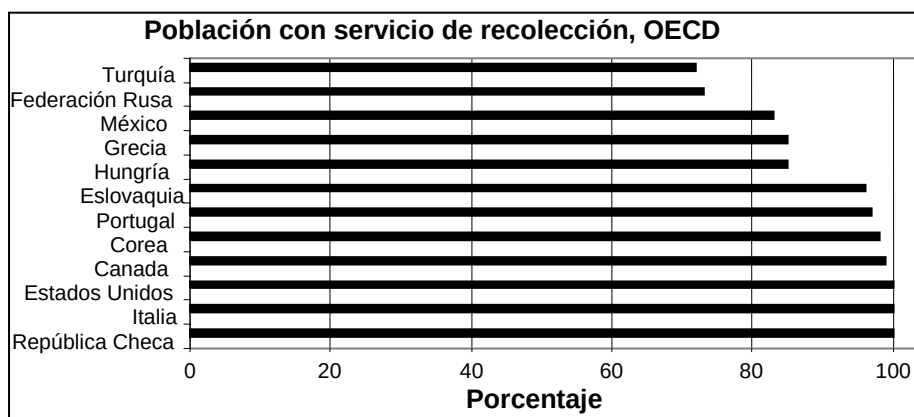


Fuente: OECD Factbook 2006, Environment - air, water and land - municipal waste

Figura 1 Generación de residuos sólidos per cápita, OECD

Para 1998 se reportaba que la ciudad de Mexicali producía per cápita 1kg/hab/día (INE, 1998), producción que en 2006 fue de casi 1.6 kg en función de la generación de 1300 toneladas diarias (OULM, 2006). Lo que manifiesta un aumento cercano a 0.5 kg en menos de una década, lo que significa un

reto para el ayuntamiento en términos de recolección y de infraestructura para su tratamiento y disposición. En tanto que el servicio de recolección de residuos sigue un comportamiento similar al reducir el déficit en el periodo 2000-2005 en la tabla 1.



Fuente: OECD, 2004, Philippe Rekacewicz, UNEP/GRID-Arendal

Figura 2 Población con servicio de recolección, OECD

Tabla 1 Tasa de crecimiento de residuos urbanos, peligroso y porcentaje de población con servicio de recolección

País	Tasa de crecimiento población	Tasa de crecimiento residuos Urbanos	Tasa crecimiento residuos peligrosos	% de la Población beneficiada con recolección de residuos	
	2000-2005	2000-2005	1999-2000	2000	2005
Estados Unidos Mexicanos	1	2.63	14.10	84%	90%
Aguascalientes	2.2	3.12	24.66	90%	96%
Baja California	2.4	3.98	11.98	88%	97%
Baja California Sur	3.4	3.93	0.00	85%	93%
Campeche	1.6	3.04	14.49	80%	84%
Coahuila	1.5	2.95	0.00	75%	92%
Colima	0.8	2.71	43.49	75%	88%
Chiapas	1.6	3.23	0.00	75%	85%
Chihuahua*	1.1	3.42	*	90%	97%
Distrito Federal	0.2	0.87	56.77	95%	98%
Durango	0.7	2.46	72.97	80%	81%
Guanajuato	0.9	2.69	83.88	80%	92%
Guerrero*	0.2	2.17	*	75%	87%
Hidalgo	0.9	2.56	99.88	85%	80%
Jalisco	1.2	2.53	0.00	80%	92%
México	1.2	3.15	71.62	84%	91%
Michoacán	-0.1	2.33	0.00	80%	85%
Morelos	0.6	2.94	73.14	80%	86%
Nayarit	0.6	2.64	0.00	69%	86%
Nuevo León	1.6	2.91	81.12	90%	97%
Oaxaca	0.4	2.70	0.00	75%	84%
Puebla	1	2.58	0.00	92%	92%
Querétaro	2.3	3.49	21.84	84%	93%
Quintana Roo	4.7	4.72	0.00	84%	84%
San Luis Potosí	0.8	2.07	0.00	84%	85%
Sinaloa	0.5	2.59	0.00	84%	98%
Sonora	1.4	3.18	44.87	84%	87%
Tabasco	0.9	2.69	28.06	75%	85%
Tamaulipas	1.7	3.60	0.00	85%	89%
Tlaxcala	1.9	3.09	2.88	90%	95%
Veracruz	0.5	2.11	0.00	84%	83%
Yucatán	1.6	2.79	0.00	84%	88%
Zacatecas	0.2	2.07	34.56	70%	86%
NOTA: * Debido a que puede existir error en las unidades de conversión, no se consideró el valor en el cálculo de la tasa de crecimiento.					
FUENTE: INEGI, 2005. Elaboración propia a partir de la Información temática de población y residuos: población total por entidad federativa, 2000-2005; generación de residuos sólidos urbanos por entidad, 1998-2005; generación per cápita diaria y anual de residuos sólidos urbanos 1998-2005; recolección de residuos sólidos urbanos y población beneficiada por entidad, 1999-2005 y empresas que manifiestan la generación de residuos peligrosos y volumen generado por entidad 1999-2000.					

II. METODOLOGÍA INDICADORES URBANOS

El proyecto de Observatorio Urbano Local de Mexicali es una iniciativa que conjunta los esfuerzos de la academia a través de la Universidad Autónoma de Baja California; de la sociedad organizada a través del Consejo de Desarrollo Económico de Mexicali y de la Agencia Hábitat a través de su representante en COPLADEMM. Proyecto que se ha propuesto en su inicio cubrir los compromisos de la Agenda de Indicadores de Naciones Unidas-Hábitat y construir paralelamente la agenda local. Ha sido financiado por CONACYT-SEDESOL y la propia Universidad Autónoma de Baja California para desarrollar la metodología y la aplicación de la misma; cabe destacar que la Agenda Local, comprende los problemas locales y fronterizos, al ser Mexicali una ciudad ubicada en la frontera México Estados Unidos.

Así el Observatorio Local de Mexicali debe de responder a los problemas de interés local que permitan tanto a las autoridades como otros sectores de la sociedad diseñar e instrumentar acciones que contribuyan con mejorar el nivel de vida de la población.

Naciones Unidas ha desarrollado las bases metodológicas para cada uno de los indicadores a través de cinco grandes temas a tratar: desarrollo económico, desarrollo social, desarrollo urbano, medio ambiente y gestión pública, que en el caso del tema de residuos se concentran en la generación de toneladas/día de residuos y del porcentaje de cobertura del servicio de recolección (OULM, 2006).

Para el caso de la identificación de indicadores de la agenda local y fronteriza se propuso un procedimiento participativo, del cual se obtuvieran tanto los principales problemas, como el señalamiento de sus

posibles causas y soluciones, propuesta basada en el modelo de Presión-Estado-Respuesta de OECD para el diseño de indicadores. Asimismo se consideró la representatividad de diferentes intereses de grupos: gubernamentales, privados, académicos y sociales representados en el Comité de Planeación para el Desarrollo Municipal de Mexicali (COPLADEM), quienes en forma conjunta intervienen en los procesos de planeación y seguimiento de planes, programas y proyectos que emprende el ayuntamiento para diversos temas que integran la agenda (OULM, 2006).

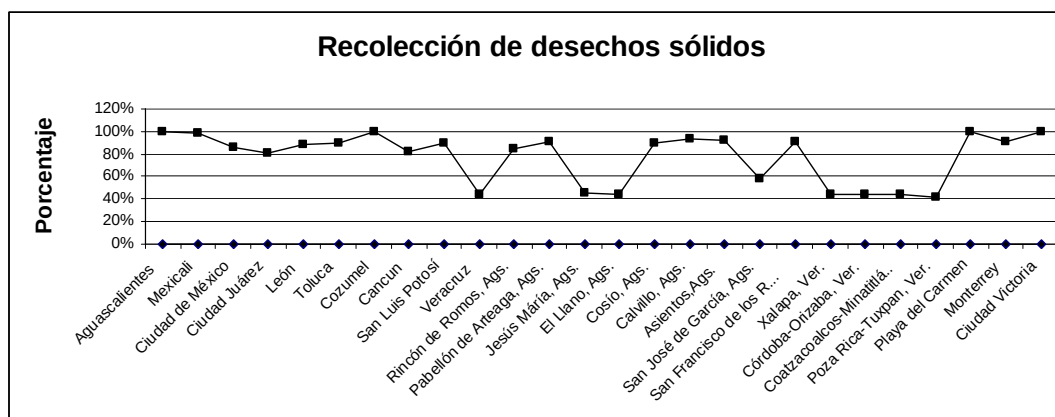
El trabajo se concreto en tres fases:

1. Presentación de objetivos, metas y funcionamiento de la Red de Observatorios. Asimismo como los objetivos y metas a ser obtenidos al final de la sesión.
2. Aplicación de un cuestionario por mesas temáticas de la agenda.
3. Consensuadamente se trabajó en la jerarquización de problemas, planteamiento de causas y soluciones para atender los mismos.

III RESULTADOS

De los indicadores definidos por Naciones Unidas para el tema de generación de residuos se reportaron 1 300 toneladas por día, una cobertura de recolección de residuos de 98.49 %. Al igual que se reportaron la existencia de 19 sitios de tira clandestina de residuos y un porcentaje de reciclado de residuos de 3%.

De la información aportada por otros observatorios de la red de SEDESOL (2007) se aprecian diferencias importantes en porcentajes de cobertura de recolección que varían entre un 40% y 100%.



Fuente: OULM, 2006. <http://www.uabc.mx/iis/oulm>

Figura 3 Población beneficiada con el servicio de recolección en ciudades que cuentan con Observatorios Urbanos

El tema de residuos sólidos aparece en la agenda local en segunda prioridad de atención después del tema de calidad del aire. Asimismo aparece también citado el problema de los residuos peligrosos en cuarto lugar de siete. Mientras que en la agenda fronteriza se plantean los problemas de los residuos peligrosos en tercer orden y de manera específica en cuarto lugar aparece el tema de la disposición de llantas (OULM, 2006).

Agenda Local

1. Calidad del aire
2. Basura
3. Calidad de aguas residuales
4. Residuos peligrosos
5. Forestación y áreas verdes
6. Contaminación por agroquímicos
7. Contaminación visual

Agenda Fronteriza

1. Calidad del aire
2. Calidad de aguas residuales (río Nuevo)
3. Movimiento transfronterizo de materiales y residuos peligrosos
4. Residuos sólidos: llantas
5. Tráfico de plantas y fauna

El tema de residuos sólidos también aparece mencionado como problema de la ciudad en la mesa de desarrollo urbano.

Posteriormente se incorporan los comentarios de ambas mesas en el planteamiento de las causas y posibles respuestas que el público participante aportó.

a. Manejo deficiente de residuos sólidos; en este punto se plantean como causas el crecimiento extensivo y rápido que tiene la ciudad, donde queda rebasada la capacidad de dotación de infraestructura. También señalan las carencias de planeación en la prestación del servicio y de estudios adecuados orientados al largo plazo para el manejo de los residuos sólidos urbanos. Asimismo el público apunta que por otra parte, las autoridades requieren aplicar la normatividad y las sanciones correspondientes para controlar la recolección, transferencia, tratamiento y disposición final de los mismos.

Los participantes expresan que la capacidad de la infraestructura instalada para los residuos domésticos es insuficiente al igual que la supervisión de los servicios.

Sobre la disposición de residuos voluminosos domiciliarios, consideran insuficientes los programas y de escasa difusión entre la población. Sobre este último punto, reconocen que no existe la información

adecuada de la localización de sitios para la disposición de diferente tipo de residuos; como son los muebles, escombro, enseres domésticos, chatarra, residuos peligrosos y no peligrosos entre otros. Por último indican el problema de la tira clandestina de basura en lotes baldíos y caminos por parte del público y de algunas empresas.

Respecto a las posibles respuestas o soluciones señalan la elaboración de un programa de manejo integral de los residuos; la mejora y ampliación de la infraestructura para la disposición adecuada; la necesidad de contar con programas remediales sobre los sitios afectados por la tira clandestina de residuos, así como el reforzamiento de la vigilancia y aplicación estricta de la normatividad.

Mencionan también la importancia que puede tener el desarrollo de tecnologías apropiadas que contribuyan con el mejor manejo de los residuos, al favorecer esquemas de vinculación academia-gobierno-empresa.

Consideran necesario el cierre y apertura del nuevo relleno sanitario; el poder contar con convenios participativos con la industria para el retiro de vehículos abandonados en la vía pública; creación y difusión de los centros de acopio para diferente tipo de residuos, además de los programas de recolección especial domiciliaria.

Para concluir las propuestas, consideran crucial establecer programas permanentes de incentivos fiscales a la comunidad y empresas para mantener limpia la ciudad y emprender programas que refuercen la educación ambiental de la población, para efectuar el reuso y reciclaje de residuos.

b. Manejo inadecuado de residuos peligrosos, este es un tema que surgió sobre

todo en la agenda fronteriza y al igual que en el apartado anterior, el consenso se centra en que la deficiencia es por la falta de aplicación y supervisión del cumplimiento de la normatividad a las empresas que manejan este tipo de residuos. Es también un reclamo que no exista la infraestructura adecuada para el tratamiento y disposición final de los residuos, ya que se han detectado problemas de mal manejo de los contenedores o accidentes en la transportación o disposición clandestina de los mismos. Igualmente señalan la falta de información sobre sitios y empresas que prestan este tipo de servicios a empresas y domicilios.

Sobre las posibles soluciones a los problemas se pueden citar: el tema del monitoreo y seguimiento de empresas; la aplicación de la normatividad y sanciones correspondientes; el desarrollo de indicadores para el monitoreo de las mismas y promover que el municipio se haga cargo de los centros de acopio. El resto de las propuestas son semejantes a las mencionadas para el manejo de residuos.

Como resultado de este ejercicio se ha formulado una propuesta de posibles indicadores a ser desarrollados localmente (Rojas et al., 2007) que consideren por un lado las observaciones de las mesas temáticas y por otro, algunos indicadores que ofrezcan la comparabilidad entre observatorios en el ámbito nacional, indicadores que tendrían que valorarse en función de su factibilidad de levantamiento por las diferentes dependencias relacionadas con la operación de este servicio público. Enseguida se enlistan los indicadores de acuerdo con el modelo de Presión-Estado-Respuesta ver Tabla 2.

Tabla 2 Indicadores de residuos sólidos y peligrosos

Presión

- Crecimiento de la población
- Crecimiento de nuevos fraccionamientos
- Crecimiento de la actividad económica industrial y comercial
- Crecimiento de industrias que manejan residuos peligrosos
- Crecimiento de la población y niveles de bienestar
- Generación anual de residuos sólidos municipales

Estado

- Generación de residuos per cápita
- Generación anual de residuos peligrosos
- Capacidad actual y vida útil de la infraestructura de estaciones de transferencia, tratamiento y disposición final
- Número de basureros clandestinos
- Afectación a la calidad del paisaje e imagen urbana
- Afectación a la calidad del aire y agua
- Cobertura de población del servicio de recolección de basura doméstica
- Cobertura del servicio de transferencia
- Padrón de empresas recicladoras
- Porcentaje de residuos que se reciclan
- Inversión en infraestructura: recolección y disposición
- Relación costo-precio del servicio de recolección de residuos
- Población que trabaja en la pepena de basura
- Patrones de consumo y composición de los residuos
- Percepción social de la calidad del servicio de recolección y limpieza de vialidades
- Accidentes por manejo inadecuado de residuos peligrosos
- Denuncias públicas

Respuesta

- Reglamento de limpia
- Programa para el manejo integral de residuos
- Indicadores para el seguimiento del programa de manejo integral de residuos
- Evaluación de impacto ambiental de infraestructura para tratamiento y disposición
- Programa de monitoreo de sitios de disposición
- Normatividad para la regulación de los servicios de recolección y disposición de residuos
- Programas especiales de recolección de residuos

(muebles, madera, metales, autos)

- Programas de difusión de los sitios para la disposición de residuos no domésticos
- Incentivos económicos para la limpieza y cercado de predios baldíos
- Incentivos económicos y fiscales para las empresas
- Vigilancia y aplicación de la normatividad en la operación de servicios y de la ciudadanía (auditorías ambientales, reportes)
- Gastos de inversión en infraestructura para la disposición y tratamiento de residuos, municipales, no peligrosos y peligrosos
- Programas de educación ambiental

IV CONCLUSIONES

Es definitivo que las ciudades en las próximas décadas van a ser las principales generadoras de residuos sólidos urbanos y peligrosos. De ahí que sea relevante el iniciar el monitoreo de las mismas con propósitos de diseño de estrategias que minimicen o reduzcan el impacto al ambiente y la salud.

La experiencia internacional permite ver que México sigue la tendencia general en cuanto al incremento en la generación per cápita y de cobertura del servicio de recolección. A partir de la comparación de las tasas de crecimiento de población contra la generación per cápita y de residuos peligrosos llaman la atención a diseñar estrategias dirigidas a la dotación de infraestructura y de reducción de la generación.

En el ámbito local los resultados del diagnóstico del observatorio apuntan en un primer nivel a considerar como prioridad el contar con una buena planeación y gestión del servicio y proponer el diseño de otros indicadores que permitan por un lado identificar las presiones, conocer el estado que guarda el ambiente y las respuestas que pueden ser instrumentadas por las autoridades, empresas y sociedad civil.

VI REFERENCIAS

INE (1998) Reporte del estado ambiental y de los recursos naturales en la Frontera Norte de México: Indicadores generales para residuos sólidos, fecha última actualización, 31/03/2005, <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/109/cap8.html>

INE (2001). Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales, Anexo III, descripción y cálculo de indicadores-indicadores generales, fecha última actualización, 15/12/2006, <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/344/anexo3.html>

INEGI (1995). Estadísticas del Medio Ambiente, México 1994. Aguascalientes, México.

INEGI(1998). Estadísticas del Medio Ambiente México 1997, Informe de la situación general en materia de Equilibrio ecológico y protección al ambiente, 1995-1996, Aguascalientes, México.

INEGI (2005). Estadísticas estadísticas ambientales: Generación de residuos sólidos urbanos por entidad federativa, 1998 a 2005; Generación per cápita diaria y anual de residuos sólidos urbanos por zona geográfica, 1998 a 2005; Recolección de residuos sólidos urbanos y población beneficiada por entidad federativa, 1999 a 2005; Empresas que manifiestan la generación de residuos peligrosos y volumen generado por entidad federativa, 1999 y 2000. <http://www.inegi.gob.mx/est/default.aspx?c=5911> ,

INEGI (2005). Estadísticas sociodemográficas: Población total por entidad federativa según sexo, 2000 y 2005 y Tasa de crecimiento media anual de la población por entidad federativa, 1990 a 2005, <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=mpob02&c=3179>

OECD, 2004, Philippe Rekacewicz, UNEP/GRID-Arendal, http://maps.grida.no/go/graphic/percentage_of_the_population_served_by_municipal_waste_services

OECD (2005). OECD Key Environmental Indicators 2005, Paris, pp. 18-19, <http://www.oecd.org/dataoecd/20/40/37551205.pdf>

OECD (2006). OECD FACTBOOK 2006, environment and natural resources: air, water and land, p 152, Paris, <http://titania.sourceoecd.org/vl=6459822/cl=11/nw=1/rpsv/factbook/07-01-03.htm>

OULM (2006). Observatorio Urbano Local de Mexicali, UABC. <http://www.uabc.mx/iis/oulm>

Rojas, Rosa et al. (2007). Observatorio Urbano de Mexicali: Experiencias en la construcción de la Agenda Local de Indicadores, en SEDESOL <http://dgduweb.sedesol.gob.mx/proyectos/mexicali.pdf>

SEDESOL (2007). Sistema de seguimiento de Indicadores, última actualización, 15/01/2007. <http://dgduweb.sedesol.gob.mx/>

UNEP (1999). The State of the Environment: Latin America and the Caribbean, United Nations Environmental Program Global Environmental Outlook-2000, chapter two, <http://grida.no/geo2000/english/0091.htm>

UNEP (2002). Perspectivas del Medio Ambiente GEO 3, America Latina y el Caribe, desechos sólidos, <http://www.unep.grida.no/geo/geo3/spanish/426.htm>

UNEP (2006). Global environmental outlook yearbook 2006, Urban outdoor air pollution, <http://www.unep.org/geo/yearbook/yb2006/057.asp>

Modelos para determinar las variables predictoras en la generación de residuos domiciliarios

Sara Ojeda Benítez, Raúl Adalberto Morelos, Lozano Olvera Gabriela y Carolina Armijo de Vega
Universidad Autónoma de Baja California- Instituto de Ingeniería
Mexicali Baja California
email: sara@iing.mxl.uabc.mx

Resumen

Uno de los retos que enfrentan las autoridades encargadas de la gestión de residuos, es determinar la cantidad de residuos que los hogares generan para tratar de aplicar tarifas compatibles con el principio manejado mundialmente y diseñar un sistema justo de pago por vivienda de acuerdo a la cantidad de residuos sólidos domiciliarios (RSD) generados. El objetivo de esta investigación fue determinar los modelos matemáticos que relacionen la producción de RSD per cápita con la escolaridad, ingreso por vivienda y el número de habitantes por hogar. Se realizó un estudio de generación, cuantificación y composición de residuos domiciliarios en la ciudad de Mexicali, en tres etapas. Para definir los modelos de predicción se identificaron cinco variables que se incluyeron en el modelo. Para cada etapa de muestreo de residuos se generó un modelo matemático para buscar el modelo que mostrara la mejor relación lineal para predecir la generación de residuos sólidos domiciliarios. Posteriormente se establecieron los modelos para explorar las combinaciones de las variables incluidas y seleccionar los que mostraron la mayor r^2 . Las pruebas que se les aplicaron fueron de normalidad, multicolinealidad y heteroscedasticidad. Finalmente se generó un modelo que se formuló con cuatro variables y a este modelo se le aplicó la prueba de Durban-Watson. Con los resultados de estos modelos se propone un modelo matemático general para predecir la generación de residuos domiciliarios.

Palabras Clave - Generación de residuos domiciliarios, modelos de predicción, familia mexicana.

The present research intends to determine the mathematical models that relate the household solid wastes(HSW) production per capita with the level of education, household income, and number of individuals within each house. For this effect, a study on the generation was carried out in the city of Mexicali. The three part study included an interview with each family to identify the demographical variables that would be used, such as level of education, income, number of individuals, age, gender, and occupation. The results helped determine the weight and constitution of the solid waste generated, as well as the consumption habits related to the number of children, level of education, family income, and number of individuals per household. To establish the prediction models, five variables were identified and included in the model. Each variable was identified with a different symbol. The type of dependency and the measurement unit were also established. For each stage of the sampling, a mathematical model was established in order to find the one that better reflected the lineal relation for predicting the generation of HSW. Based on the results of this research, a general mathematical model is proposed to help us predict the generation of domestic solid waste.

INTRODUCCIÓN

La gestión de los residuos sólidos es un problema de carácter mundial que progresivamente están afrontando la mayoría de los municipios. Factores como el crecimiento demográfico, el urbanismo, la industrialización, la producción a gran escala y difusión

del estilo de vida de “consume y desecha”, no solamente nos han llevado al incremento en la generación de residuos; sino que además favorecieron el agravamiento del problema, ya sea por su concentración geográfica y, sobretodo, urbana.

La generación y el manejo de los residuos sólidos municipales (RSM) es un tema de interés mundial, éstos conforman un ciclo compuesto por diversas etapas estrechamente vinculadas entre sí. El ciclo se inicia con la producción de bienes de consumo y continúa con la generación, almacenamiento, barrido, recolección y disposición final. Los estudios que se han realizado, sobre el manejo de los residuos sólidos, se centran en el ciclo completo o en algunas de las etapas. Generalmente el propósito de los estudios que se realizan es alcanzar beneficios tales como implantar un manejo de los residuos sólidos municipales más sostenibles, promover la participación y el bienestar de los ciudadanos, contribuir a la conservación ambiental, entre otros. Este trabajo se centra en la generación y caracterización de los residuos sólidos domiciliarios, ya que estos son parámetros muy importantes para la toma de decisiones en lo que se refiere a proyección y diseño de los sistemas de manejo y disposición final de los desechos sólidos.

México como muchos países tienen un gran reto al manejar y administrar sus residuos sólidos urbanos (RSU) y su residuos sólidos municipales (RSM) por el crecimiento poblacional, industrial, las costumbres, el mejoramiento en el bienestar familiar, y la migración de la zona rural a la zona urbana. Por esta razón la federación, a través de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) en coordina-

ción con el Instituto Nacional de Ecología (INE) establecen las regulaciones, las leyes y los objetivos para controlar la contaminación en el país.

El problema de la generación de RSM es preocupante, ya que por mucho tiempo en México la administración y control de los RSM ha sido deficiente y no se ha logrado tener el pleno control y manejo y disposición final.

La administración de los RSM ha sido ampliamente discutida y confrontada a través de numerosos estudios, tratando de encontrar las relaciones y los mejores planes para resolver el problema de los RSM desde su recolección hasta su disposición final.

Son muchos los investigadores que han realizado simulaciones y modelaciones de sistemas de RSM en diversas partes del mundo aplicando los modelos matemáticos, entre ellos están, Mac Donald, 1996, quien analiza el estado del arte de los RS, analizando catorce modelos matemáticos, basado en criterios de optimización económica. El problema es que los modelos requieren una gran cantidad de datos por lo que son más apropiados para utilizarse durante las fases de planeación e implantación. En otro estudio Lund (1990), analiza a través de un modelo de optimización lineal, las alternativas para la disposición final en un relleno sanitario.

Jacobs y Everett, 1992, propusieron modelos matemáticos para el análisis de recuperación de componentes reciclables, en otra investigación reciente Everett y Shahi (1996), proponen un modelo de administración para el establecimiento de plantas de composta y Everett y Modak, 1996, también desarrollaron un modelo generalizado en-

caminado a precisar de forma regional, los métodos más convenientes para la recolección y disposición de los RSM.

Chang et al, (1996), en su modelo incluye los problemas de los vehículos de recolección y el control de tráfico, en donde incluye modelos de ecuaciones no lineales resolviéndolos utilizando algoritmos de división e interpolación.

En otro estudio, Fabbriccino (2001), señala que lo complejo de los modelos, consiste en la necesidad de entender la gran cantidad de parámetros y datos que se utilizan, los cuales no se pueden cuantificar inmediatamente para realizar una planificación inicial de los RSM. El modelo que propone resuelve o trata de resolver el problema de la toma de decisiones preliminares a la fase de planeación y su optimización económica. Su aplicación demuestra, como puede ser utilizado para evaluar las ventajas económicas de la recolección y disposición de los RSM.

Salhofer, 2000 diseña un modelo para tratar de calcular la generación de residuos comerciales e industriales en Viena, su modelo se base en una matriz que aplica para clasificar el tipo de negocio que lo genera de acuerdo al sector comercial/industrial y en base al número de empleados. Sus resultados los compara con otros datos de otros estudios similares.

Otro estudio realizado en Chile por Orccosupa (2002), analiza la relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos. En su modelo relaciona el ingreso económico contra el consumo de energía eléctrica y aplica la teoría de la Curva de Kuznets Ambiental, que relaciona el ingreso per cápita

y la presión sobre el ambiente, todo esto encaminado a la reducción de RSD.

Es importante destacar que quienes realizan estudios para conocer, explicar y proponer alternativas para la problemática asociada con la basura se enfrenta con varios problemas, que muchas veces la administración no toma en cuenta, el estudio y manejo de basura es pesado, sucio, huele muy mal y sale muy costoso, lo cual lo convierte en una tarea técnicamente complicada. Por ello, el uso de modelos matemáticos puede ser una alternativa para abordar esta problemática. En este sentido, Sheshinski (2001), enfatiza la importancia y el cuidado que se debe tener al construir un modelo matemático para abordar la problemática de los RS.

La relación matemática y modelación entre la cantidad de RS, transporte, costo, tratamiento, etcétera, es difícil de construir por la gran cantidad de variables involucradas y lo cambiante de éstas relaciones que fueron analizadas por Fabbriccino, 2001 y Sheshinski, 2001. La importancia en el análisis debe ser muy detallada sobre los diferentes parámetros del modelo para asegurarnos que estamos utilizando los valores óptimos, de no hacerlo documentaríamos una relación de funciones y estimaciones erróneas.

Por ello en este trabajo, la problemática que se abordará está relacionada con los volúmenes de residuos sólidos que se generan diariamente en una comunidad urbana y la necesidad de formular un modelo matemático para explicar las variables que están relacionadas con esta problemática. Entonces, el propósito de la investigación, consistirá en desarrollar un modelo matemático

que nos ayude a proponer escenarios para la toma de decisiones en el ayuntamiento.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar la investigación se trabajó con los residuos que generan las familias de una comunidad en Mexicali, para ello se realizó un estudio de generación y cuantificación de residuos a través de un muestreo. El muestreo de los residuos se realizó en tres etapas, que corresponde a tres años. También se aplicó una encuesta para conocer los datos demográficos de la población estudiada. Para desarrollar este trabajo se analizaron los datos de las tres etapas de la investigación original de la cual se desprende esta investigación.

Después de analizar los datos almacenados en la base de datos del proyecto original se generó la información requerida para establecer la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) de la comunidad en las tres etapas, determinando, peso, composición, hábitos de consumo, cantidad de hijos, tipos de escolaridad, ingreso por familia y el número de habitantes por vivienda.

Se interpretaron los resultados obtenidos de la base de datos, para la identificación de las variables de estudio e identificación del modelo matemático a utilizar, para tratar de implementarlo en la planeación, reducción y transporte de los RSD.

En esta etapa se evaluó el nivel de correlación con los datos que se generaron de los tres muestreos, es importante aclarar que los muestreos que se realizaron en cada etapa varió, en la primera etapa se trabajó con 53 viviendas, en la segunda con 52 y en la tercera con 76.

2.1 Variables predictoras a incluir en la modelación

El comportamiento de la generación de los RSD es imposible que sea explicado por sola una variable predictor. Por ello, para encontrar el mejor modelo matemático que pueda explicar la generación de los RSD, se analizaron los datos y se identificaron las variables que están involucradas. Para definir los modelos de predicción se identificaron cinco variables que se incluyeron en el modelo; para ello se le asignó una simbología a cada variable, se estableció el tipo de dependencia y la unidad de medida. En la Tabla 1 se presentan las variables que se incluyen en este trabajo.

Tabla No. 1 Definición de las variables para el modelo matemático y análisis de la información

Nombre de Variable	Simbología	Tipo	Unidad de medida
Escolaridad promedio por vivienda	X_{ESC}	Independiente discreta	Escolaridad/vivienda
Número de personas por vivienda (Densidad)	X_{HAB}	Independiente discreta	Personas/vivienda
Ingreso por vivienda	X_{ING}	Independiente continua	Ingreso/vivienda
Producción per cápita de Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) por día	Y_{RSDPPC}	Dependiente continua	Kgs/Hab-día

La variable, escolaridad promedio por vivienda (X_{ESC}) se determinó con base a personas mayores de 18 años que habitan en la casa. Para el cálculo del promedio se le dieron valores entre el 1 y el 4 a los diferentes niveles de escolaridad, ver tabla 2. Para asignarle el nivel de escolaridad se determinó como requisito que el sujeto hubiera concluido el nivel asignado a partir del nivel secundaria hasta profesional, si se registraba nivel inconcluso, se le asignaba el nivel inmediato inferior.

Para establecer la variable ingreso por vivienda, se tomó en cuenta el número de personas que trabajaban y percibían ingreso

por vivienda, se sumaron los ingresos y se dividieron entre el total de habitantes que trabajaban. Una vez encontradas las variables a estudiar, se realizó una matriz de datos de muestreo de bolsas, y otra matriz con la información de las entrevistas.

Tabla 2: Determinación de los valores numéricos para los diferentes niveles de educación

Escolaridad	Valor	Observaciones
Sin escolaridad	0	Aquellas personas que no cursaron Primaria ni ningún otro Aquellas personas que no cursaron Primaria ni ningún otro.
Primaria	1	Sólo los que indicaban que habían terminado la primaria.
Secundaria	2	Sólo se incluyó en este nivel de escolaridad los que habían terminado la secundaria, lo que tenían secundaria inconclusa fueron incluidos en el nivel inmediato anterior.
Preparatoria	3	Sólo los que indicaban que habían terminado la preparatoria, sino la terminó pasa a secundaria.
Profesional	4	Solo los que indicaban que habían terminado la profesional, sino la terminó pasa a preparatoria. (Se incluyen nivel superior y posgrado)

2.2 Definición de Matrices de datos de la composición de residuos.

Se construyeron tres matrices con los resultados del muestreo de cada etapa, para estudiar las variables que se identificaron para desarrollar el modelo, Las matrices se definieron incluyendo la información de cada vivienda-familia que participó en el muestreo en las tres etapas de la investigación, las categorías que se analizaron fueron el peso total de las bolsas muestreadas, la escolaridad, la cantidad de habitantes por vivienda, el ingreso diario por vivienda y la cantidad de RSD generados por habitante.

Para realizar la cuantificación y caracterización de los residuos, la colonia estudiada se dividió en dos zonas, esto se hizo con el propósito de facilitar el manejo de los residuos muestreados. La primera etapa fue muestreada durante el mes de octubre para la zona 1 y durante noviembre para la zona 2. La segunda etapa se realizó durante los

meses de mayo y junio. En la primera y la segunda etapa se muestrearon las dos zonas, y para controlar los muestreos, a la primera etapa se le asignó los números de identificación (ID) del 01 al 154 y del 301 al 303, para la segunda etapa, a los hogares se les asignó los ID's del número 400 al 565. En el análisis de ambas etapas solo se incluyeron lo datos de las viviendas que participaron con un mínimo de 8 bolsas muestras de las 12 que se recogieron de cada familia, durante el mes que duró cada muestreo.

Para la tercera etapa, se muestrearon los hogares que aceptaron continuar participando en el proyecto de residuos sólidos; por lo que las viviendas que se incorporaron, ya habían participado en las etapas anteriores.

Para encontrar una relación entre los RSD generados con las variables definidas se trabajó con los datos de las matrices generadas con la información de las tres etapas y de esta forma analizar el comportamiento de la producción de los mismos a través de los años. Una vez concentrados los datos en cada matriz de resultados, se exploraron las relaciones entre todas las parejas de variables, en especial, la relación de los RSD per cápita con cada una de las variables predictoras. Para observar la relación, se utilizó la opción de graficado matricial en el programa Statistica versión 6.

Para cada etapa de muestreo de residuos se generó un modelo matemático para buscar el modelo que mostrara la mejor relación lineal para predecir la generación de residuos sólidos domiciliarios, ver figura

Posteriormente se establecieron siete modelos que exploraron las combinaciones de las variables incluidas y se eligieron los que

mostraron la mayor r^2 . Los primeros tres modelos se generaron con dos variables, a estos modelos se les aplicó la prueba de normalidad y homocedasticidad para generar un modelo lineal. Los siguientes tres modelos se generaron con tres variables, las pruebas que se les aplicaron fueron de normalidad, multicolinealidad y heteroscedasticidad. Finalmente se generó un séptimo modelo, el cual se formuló con cuatro variables y a este modelo se le aplicó la prueba de Durban-Watson. Con los resultados de estos modelos se propone un modelo matemático general que nos permita predecir la generación de residuos domiciliarios.

Modelación de la generación de residuos sólidos domiciliarios.

La modelación se inició con un modelo función lineal, siguiendo los pasos que marcan Levin, 1986, Mendenhall, 1990, Se determinó un modelo de regresión para cada una de las variables de escolaridad, ingreso por vivienda y el número de habitantes por vivienda, con la finalidad de calcular los RSD por habitante. El modelo de función lineal con el que trabajó se observa en la ecuación 1

$$Y = \alpha + \beta X_1 + \varepsilon \quad \text{Ecuación (1)}$$

α = Es el intercepto, e indica el valor promedio de la variable de respuesta cuando $\beta = 0$

β = Es la pendiente e indica el cambio promedio en la variable de respuesta, cuando la variable aleatoria aumenta.

ε = Es el término del error aleatorio con media o valor esperado igual a cero $E(\varepsilon) = 0$.

Se buscaron las variables que más se relacionaran entre sí, y se generó el modelo de regresión, para luego calcular el coeficiente de determinación o la correlación entre las variables. Ahora bien, si el coeficiente de determinación R^2 o el de correlación R era bajo (menos de un 35%, Mendenhall, 1990) se determinó que el modelo era muy “pobre” para realizar algún pronóstico.

Para mejorar el modelo se utilizaron las alternativas que frecuentemente se usan en la estadística de regresión (Levin, 1986) y que son:

- a) Transformación de la variable independiente o predictora (X = Escolaridad, No. De habitantes o Ingreso por vivienda), o la variable dependiente (La Generación de los RSD per cápita), o ambas y utilizar un modelo lineal.
- b) Utilizar una regresión polinómica con una variable independiente o predictora, o
- c) Conseguir más variables independientes o predictoras y utilizar la regresión lineal múltiple.

En el primer caso, se trata de encontrar la transformación más adecuada de las variables, se puede perder mucho tiempo buscando esta transformación y además podríamos encontrar un modelo muy optimista, al satisfacer en demasía la tendencia de los datos muestreados (también llamado, overfitting) (Mendenhall, 1990, Acuña, 2002), pero que es “pobre” para hacer predicciones debido a que tiene una desviación estándar o una varianza demasiado grande.

En el segundo caso, el ajuste puede ser más rápido, pero también es mucho más fácil

caer en el modelo optimista, y se pueden crear muchos problemas de cálculo ya que pueden surgir problemas de colinealidad.

El tercer caso, es la alternativa más utilizada y conveniente en la investigación. La ventaja es que tiene una analogía con el primer caso (el caso con dos variables), pero requiere el uso de vectores y matrices.

Para nuestro estudio, se utilizó el tercer caso, y se mostró el uso interactivo de las variables independientes involucradas en los modelos de regresión. El estudio se inició explorando las relaciones entre todas las parejas de variables, principalmente la relación de los RSD per cápita con cada una de las variables encontradas con anterioridad

III. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados que concentran la cuantificación de las variables que se han identificado para construir los modelos matemáticos que explican la generación de residuos sólidos domiciliarios.

Para encontrar el modelo que predice un comportamiento de los residuos que se generan se realizaron diversos análisis, en cada etapa, para este caso sólo se presentarán los resultados integrando las tres etapas en un sólo gráfico para cada una de las variables, encontrando ciertas relaciones que son importantes, de las cuales podemos inferir cierta información.

3.1 Análisis de variables

Los resultados de la concentración de variables son:

1 Escolaridad. Al concentrar la variable escolaridad en las tres etapas contra la cantidad de RSDpc generados, se observó que la producción de RSDpc para el año 2000 se incrementó, principalmente en viviendas con escolaridad de primaria, seguidas por las viviendas con carreras profesionales, aunque en menor grado. En las dos etapas anteriores, al menos con la información que se cuenta, indicaron que en el nivel primaria eran los que más RSDpc generan, y los de menor generación eran los de nivel profesional, tendencia que se mantuvo hasta el último estudio, que reveló un aumento en la generación de los residuos.

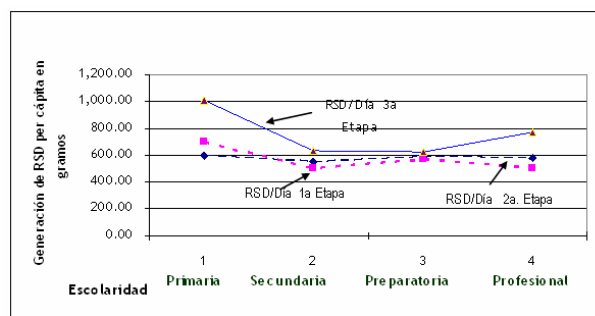


Figura 1 Generación de residuos sólidos domiciliarios y escolaridad

2. Densidad de habitantes. En la figura 2, se observa la información de la densidad de habitantes por vivienda en las tres etapas contra la cantidad de RSDpc generados, la gráfica muestra que la generación de RSDpc para la tercera etapa se incrementó, en aquellas viviendas con 2 a 3 habitantes, mientras que en viviendas con mayor número de habitantes, la producción de RSDpc disminuye. Esta tendencia se observó en las tres etapas.

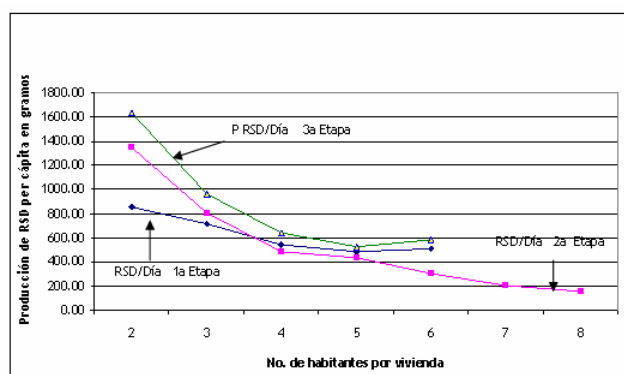


Figura 2. Generación de residuos sólidos domiciliarios y la densidad de habitantes por vivienda

3 Ingreso por vivienda. La figura 3, muestra la concentración de los ingresos por vivienda en las tres etapas contra la cantidad de RSDpc producidos. Aquí se observó que las personas con mayores ingresos no son las que generaban más RSDpc, como en algunos otros estudios (Orccosupa, 2002), en este estudio encontramos que los que tenían un ingreso entre 400 a 725 pesos por día, eran los que más RSDpc producían, (aproximadamente entre 400 y los 1300 gramos por día).

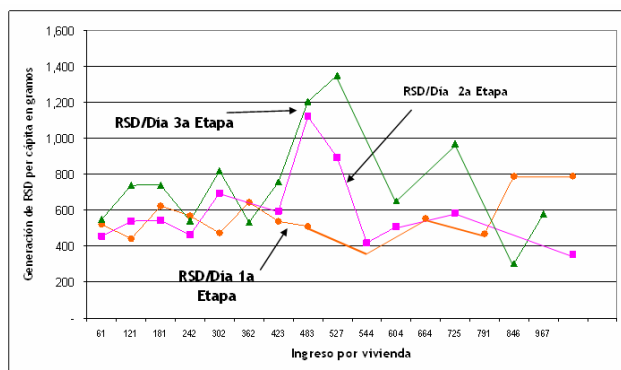


Figura 3. Generación de Residuos Sólidos Domiciliarios per cápita y escolaridad

En las figuras (1, 2 y 3), se observa que para cada variable se puede generar una serie de resultados e inferencias, que posiblemente no satisfagan nuestros objetivos originalmente planteados, por lo que los resultados no son suficientes para determinar las variables que pueden predecir el comporta-

miento de la generación de los residuos sólidos domiciliarios, por lo que es necesario analizar la relación que existe entre las variables, para lo cual una opción de análisis fue calcular un modelo de regresión para obtener mayor confiabilidad en los resultados ya que no se está analizando la relación que existe entre las variables, y por consiguiente no se puede dar una interpretación satisfactoria, basándose sólo en la estadística elemental, debido a este problema, se buscó la mejor opción para calcular un modelo de regresión en el que se tenga mayor confiabilidad en los resultados.

Los resultados para el promedio de datos de los muestreos de las tres etapas se presentan en la tabla No. 3.

Tabla 3 Promedios de los muestreos realizados en las tres etapas

Variable	Estadística descriptiva Matriz promedio de las tres etapas				
	N	Media	Mínimo	Máximo	Desv Std
Escolaridad	56	3	1	4	0.97
Habitantes	56	4	2	6	
Ingreso	56	262.27	60.51	966.57	189.39
RSDpc	56	627.08	291.37	1559.91	241.74

Fuente: Base de datos del estudio de Villa del Palmar de las tres etapas muestreadas

3.2 Análisis estadístico de los modelos

Para determinar los pronósticos con el modelo de regresión, se determinó la relación de lo conocido con el evento futuro al encontrar la relación de las variables involucradas en la producción de los RSDpc. En este modelo matemático que presentamos, con el análisis de regresión, se desarrolló una ecuación de estimación que relaciona las variables encontradas con la variable RSDpc y su grado de relación.

Una vez calculadas las pruebas de normalidad, para los tres muestreos y la concentración de estos muestreos en uno sólo y encontrar que estaban dentro de los paráme-

tros de normalidad, se procedió a calcular las ecuaciones matemáticas del modelado. La explicación para los mismos se da enseguida.

La interpretación de los coeficientes de regresión estimados para el modelo de regresión lineal con dos variables, mostrados en la tabla 5, cuya ecuación con mejor coeficiente de determinación R^2 (ver Ecuación 2)

$$Y_{RSD_{PC}} = 941.26 - 88.81 X_{HAB} \quad \text{Ecuación 2}$$

La ecuación 2 se consideró como la mejor estimación del modelo de regresión, en comparación con los otros dos modelos ($Y_{RSD_{PC}}$ Vs. X_{ESC} y $Y_{RSD_{PC}}$ Vs. X_{ING}).

La interpretación de esta ecuación lineal para cada uno de sus coeficientes es la siguiente: La *pendiente* -88.81 (llamada B o B_1 o grado de inclinación de la recta) indica el cambio promedio en la variable de respuesta, cuando la variable predictora aumenta en una unidad adicional. El *intercepto* 941.26 (llamada α) indica el valor promedio de la variable de respuesta cuando la variable predictora vale cero. Pero, carece de interpretación práctica si pensamos que el rango de valores de X_{HAB} incluye el cero. Por lo tanto, significa que en promedio, la cantidad de Residuos Sólidos Domiciliarios por persona disminuirá en promedio 88.81 gramos, cuanto aumentamos un habitante por vivienda.

Observando los modelos que se calcularon para dos variables, se encontró que son modelos que sólo funcionan para un determinado número de habitantes que son de 1 a 8, pues si consideramos un hogar con 10 o 15 habitantes, el modelo arrojaría una producción muy baja y negativa respectivamente de los residuos sólidos domiciliarios, que sería algo ilógico de pensar, a

pesar de que el coeficiente de determinación diga que hay relación entre las variables. Si se interpreta el coeficiente de determinación para este modelo, nos diría que solo explica el 18% los resultados. El coeficiente se considera muy bajo para los estándares normales de interpretación (Mendenhall, 1990, Acuña, 2002, Ostle-Mallone, 1988) en donde debe ser mayor al 50%.

El modelo lineal de tres variables que mejor coeficiente de determinación arrojó, fue el que se presenta en la ecuación 3.

$$Y_{RSD_{PC}} = 900.52 - 87.52 X_{HAB} + 0.12 X_{ING}$$

Ecuación 3

La interpretación de esta ecuación lineal para cada uno de sus coeficientes es la siguiente: manteniendo fija la variable X_{ING} , significa que en promedio, la cantidad de Residuos Sólidos Domiciliarios por persona disminuirá en promedio 87.52 gramos, cuanto aumentamos un habitante por vivienda, y manteniendo fija la variable X_{HAB} , significa que el promedio de los RSDpc aumentará en 0.12 gramos por cada peso de salario que ingrese al hogar. Al igual que la ecuación lineal para dos variables, este modelo de tres variables también está restringido a cierto número de habitantes e ingresos.

Una interpretación similar se haría para el modelo de cuatro variables, y para el modelo curvilíneo. Los resultados de los tres modelos ya promediados, se observó que el coeficiente de determinación al promediar los datos, mejoró, acercándonos a una mejor interpretación de los resultados y una mejor confiabilidad que en los muestreos por separado. Esto es debido a que se tuvo más información para calcular los modelos.

Calculando los resultados de los modelos de la tabla 5, con el promedio de habitantes por vivienda, el promedio de escolaridad y el promedio de salario por vivienda, encontramos la producción de RSDpc que se presenta en la tabla 4:

Tabla 4 generación de Residuos Sólidos Domiciliarios per capita

Modelo	Valor de la variable predictoría	Resultado en gramos de RSDpc
$Y_{RSDpc} = 1339.5 - 171.2 X_{HAB}$	$X_{HAB} = 4$	654.7
$Y_{RSDpc} = 1563.4 - 58.0 X_{ESC} - 185.7 X_{HAB}$	$X_{HAB} = 4, X_{ESC} = 3$	646.6
$Y_{RSDpc} = 1560.7 - 187.5 X_{HAB} - 64.1 X_{ESC} + 0.1 X_{ING}$	$X_{HAB} = 4, X_{ESC} = 3, X_{ING} = 262$	644.6
$Y_{RSDpc} = 5505.3 - 3186.3 X_{HAB} + 744.91 X_{HAB}^2 - 74.04 X_{HAB}^3 + 2.49 X_{HAB}^4$	$X_{HAB} = 4$	577.54

La estadística es una herramienta que aporta elementos para construir modelos e identificar las variables que deben ser incluidas en el modelado, de escolaridad, habitantes e ingreso por vivienda. Este valor puede variar dependiendo del intervalo de confianza que demos al modelo, normalmente se estima en una confianza del 95 y 99%.

Tabla 5 Modelos lineales para los promedios de muestreos primera, segunda y tercera etapa Nivel de significancia $\alpha = 0.05$					
Modelo (ecuación)	R^2	Distribución F (1,54) F (2,53) F (3,52)	Prob. de F p <	Distribución t (54) t (53) t (52)	Probabilidad de t p <
Modelo Lineal con dos variables					
$Y_{RSDpc} = 666.25 - 13.88 X_{ESC}$	0.00	0.17	0.6820	6.6	0.0000
$Y_{RSDpc} = 1339.5 - 171.2 X_{HAB}$	0.45	44.55	0.0000	12.2	0.0000
$Y_{RSDpc} = 627.06 - 0.00 X_{ING}$	0.00	0.00	0.9997	11.2	0.0000
Modelo Lineal con tres variables					
$Y_{RSDpc} = 1563.4 - 58.0 X_{ESC} - 185.7 X_{HAB}$	0.50	28.86	0.0000	11.0	0.0000
$Y_{RSDpc} = 663.89 - 15.08 X_{ESC} + 0.02 X_{ING}$	0.00	0.09	0.9136	6.42	0.0000
$Y_{RSDpc} = 1337.0 - 171.3 X_{HAB} + 0.00 X_{ING}$	0.45	21.87	0.0000	11.60	0.0000
Modelo Lineal con cuatro variables					
$Y_{RSDpc} = 1560.70 - 64.1 X_{ESC} - 187.5 X_{HAB} + 0.1 X_{ING}$	0.51	18.00	0.0000	10.94	0.0000

En la tabla 5 se presentan los modelos lineales que se obtuvieron para los promedios de los muestreos de las tres etapas. En la ecuación 4 se presenta el modelo lineal con tres variables (RSDpc vs Habitantes, Ingreso) la hipótesis de prueba de distribución F se

rechaza, existe relación entre las variables y el modelo explica un 45% los resultados.

$$Y_{RSDpc} = 1337.0 - 171.3 X_{HAB} - 0.00 X_{ING} \quad (\text{Ecuación 4})$$

En la ecuación 5, se presenta el modelo lineal con cuatro variables (RSDpc vs Escolaridad, Habitantes e Ingreso) la hipótesis de prueba de distribución F se rechaza y el modelo explica 51% los resultados.

$$Y_{RSDpc} = 1560.0 - 64.1 X_{ESC} - 187.5 X_{HAB} + 0.1 X_{ING} \quad (\text{Ecuación 5})$$

IV. DISCUSIÓN

La estadística es una herramienta que aporta elementos para construir modelos e identificar las variables que deben ser incluidas en el modelado. En este trabajo se aplicaron pruebas estadísticas para determinar los modelos que mejor predicen el comportamiento de los residuos. Utilizando para ello la modelación como herramienta.

Para realizar pronósticos con modelos de regresión, es necesario determinar la relación de lo conocido con el evento futuro al encontrar la relación de las variables involucradas en la generación de los Residuos Sólidos Domiciliarios Per cápita (RSDpc).

En diversas investigaciones se ha empleado el análisis de regresión y correlación, Orcosupa, 2002, Rebolledo, 1998, Gavidia, 1999, Volke, 1998, Jacobs y Everett, 1992, Fabbricino, 2001, por mencionar algunos. El modelo matemático que se desarrolló en este trabajo, con el análisis de regresión y el desarrollo de una ecuación de estimación que relaciona las variables escolaridad, número de habitantes e ingreso con la variable RSDpc y su grado de relación.

Se logró proponer el modelo que se presenta en la ecuación 6, el cual explica un 48% los resultados.

$$Y_{RSDpc} = 1337.0 - 171.3 X_{HAB} + 0.00 X_{ING} \text{ (Ecuación 6)}$$

Este modelo está relacionando la generación de residuos sólidos, el número de habitantes y el ingreso.

V CONCLUSIONES

La cantidad de residuos sólidos que genera una familia y con ello una población, así como su disposición final es relevante en el análisis de la sostenibilidad, ya que su volumen, peso, composición, tiempo de exposición y disposición final provocan impactos importantes en el ambiente físico-biótico y la salud humana, que están relacionados con la contaminación atmosférica, contaminación del suelo y la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, comprometiendo la sostenibilidad del planeta. Es importante tener en cuenta que la canti-

dad de residuos no depende únicamente del número de habitantes de una población sino que esta relacionada con otros factores como son el proceso de urbanización, patrones de consumo, prácticas culturales de manejo del residuo, ingresos, uso de tecnologías y desarrollo industrial.

Una de las insuficiencias más importantes en materia del manejo y disposición final de los residuos sólidos municipales es el desconocimiento que existe sobre el fenómeno, tanto en términos conceptuales como factuales. En la mayoría de las ciudades del país, por ejemplo, no se tiene identificada la cantidad ni la composición del total de la basura que se genera y, por tanto, se dificulta la toma de decisiones, por ello es importante apoyarse de la modelación para explicar el comportamiento de los residuos sólidos, sobre todo cuando se parte de datos reales, como el caso que se presenta en este trabajo.

REFERENCIAS

- Acuña Fernández, Edgar, (2002). *Apuntes de análisis de regresión*. Professor Mathematics Department University of Puerto Rico Mayaguez Campus
- Chang, N. B., Wang, S. F. (1996). *Managerial fuzzy optimal planning for solid-waste management system*. Journal of Environmental Engineering. 1996: 7: 649-658
- Everett, J. W., Modak, A. R. (1996). *Optimal regional scheduling of solid waste systems. I: model development*. Journal of Environmental Engineering. 1996: 9: 785-792
- Fabbricino, M. (2001). *An integrated programme for municipal solid waste management*. Waste management & research. Official Journal of ISWA. 2001: 19: 368-379.
- Gavidia de Pascuzzo, Reina Virginia, Pascuzzo Lima, et al, (1999). *Relación del tipo de lactancia materna con el riesgo de asma bronquial*. Médico de familia, Instituto Venezolano de los Seguros Sociales. Unidad de Medicina Familiar. Centro Ambulatorio "Doctor Rafael Vicente Andrade", 1999
- Jacobs, T. J., Everett, J. W. (1992). *Optimal scheduling of consecutive landfill operations with recycling*. Journal of Environmental Engineering. 1992: 3: 420-429
- Levin, Richard I. (1986). *Estadística para administradores*. Prentice-Hall, Hispanoamericana, S. A. 324-382. México 1986.
- Lund, J. R. (1990). *Least-cost scheduling of solid waste recycling*. Journal of Environmental Engineering. 1990: 1: 182-197.
- Mendenhall, William. (1990). *Estadística para administradores*. Grupo Editorial Iberoamericana, S. A. de C. V. Pag. 491 -549. México, 1990
- Orccosupa Rivera, Javier (2002). *Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos*. Provincia de Santiago de Chile. Tesis para obtener el título de Magister en Gestión y Planificación Ambiental. Santiago, Chile 2002
- Ostle, Bernard, Malone, Linda C. (1988). *Statistics in research. Basic concepts and techniques for research workers*. Iowa State University Press, USA, 1988.
- Rebolledo Robles, Héctor Hugo (1998). *Estimación de diferentes modelos de regresión a experimentos de fertilización y su comparación con fines de generar recomendaciones óptimas económicas. I. Casos con un factor*. Universidad Autónoma de Chapingo, Dpto. de Suelos, Area de fertilidad. 1998. Terra Vol. 16: 3: 247- 258.
- Salhofer, Stefan, (2000). *Modelling commercial/industrial waste generation: A Vienna, Austria case study*. Waste Management & Research. ISWA 2000: 18: 269 - 282.
- Sheshinski, Ruth H. (2001). *Indirect methods used for waste statistics and waste indicators*. Statistical Commission and Economic Commission for Europe. Working paper 17. Work session on Methodological Issues of environment statistics. Ottawa, Canada, Oct 2001.
- Volke H., et al. (1998). *Modelo de balance nutrimental para recomendaciones de fertilización*. Universidad Autónoma de Chapingo, Dpto. de Suelos, Area de fertilidad. 1998. Terra Vol. 16: 1: 70- 91.

Sección 4:

*Rellenos sanitarios
(diseño, monitoreo,
remediación de sitios
clausurados, etc.)*

Efecto de diferentes proporciones de materia orgánica en la degradación metanogénica de RSU de Pátzcuaro, Michoacán

Hernández-Berriel, M.del C.¹, Márquez-Benavides, L.², Buenrostro-Delgado, O.²
y Mañón-Salas, M.del C.³

1. Instituto Tecnológico de Toluca

Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Edo. México. Tel. (722) 2-08-72-18,
email: hberriel_1999@yahoo.com

2. Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,
Morelia, Michoacán México. Tel. (443) 327-23-51 ext .107,

3. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Edo. México

Resumen

El estudio de las estrategias de manejo de los RESA a escala laboratorio y piloto ha mostrado la validez de aplicar el concepto de técnicas de incremento de biogás con miras de reducir la carga de lixiviados y a la vez aumentar la producción de metano.

El presente trabajo, a escala laboratorio, se enfoca en probar si la presencia de materia inorgánica (plásticos, vidrios, metal, etc.) influye en la tasa de producción de metano de los residuos sólidos, particularmente tratando de definir los rangos de proporción de materia orgánica que no causan una diferencia en la producción de metano.

La relevancia de los resultados se enfoca en dos aspectos, buscando continuar hacia escalas mayores de experimentación: (a) recomendaciones de manejo de un relleno sanitario con miras a aumentar las tasas de producción de metano, y (b) como primer paso hacia dilucidar el efecto de la adherencia de las bacterias en los intersticios de los materiales inorgánicos del sitio de disposición.

Palabras Clave - Materia orgánica, materia inorgánica, metano, residuos sólidos urbanos.

Abstract

The study of landfill management strategies using laboratory or pilot scales, has proven the validity of applying techniques to augment biogas production and lessen leachate strength.

The aim of this research was to test if the presence of inorganic or inert matter (plastics, glass, metals, etc.) influences the methane production rate in the MSW degradation. That

is, we tried to define the range of organic matter proportions that did not alter the methanogenic rate.

Relevance of results focus in: a) the landfill management techniques, seeking to augment methanogenic production and b) a first step towards elucidating the effect of attached landfill bacteria in local sites.

Keywords - Organic matter; inert matter; MSW degradation.

I. INTRODUCCIÓN

Los procesos de degradación biológica que naturalmente ocurren en un relleno sanitario (RESA) abarcan la degradación anaerobia con la consecuente producción de metano (Fielding et al., 1988; García, 2000). Este proceso biológico es capaz de reducir la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU), pero existe una serie de factores, como el manejo del RESA, que pueden afectar las tasas de producción de CH₄. (Komilis et al., 1999).

Otros factores abióticos que influyen en la producción de metano abarcan: el pH del sistema (Wreford et al., 2000), el control de humedad (Nguyena et al. 2007), temperatura (Lefevbre et al., 2000), alcalinidad (Devlin, 1990), presencia de tóxicos (Ejlertsson et al., 1996), composición de los RSU, etc. Sin embargo, la presencia del material inerte no es usualmente tomada en cuenta como coadyuvante de la producción de metano

dentro de un RESA, prevaleciendo hasta ahora el estudio de la formación de canales preferenciales de flujo de lixiviado (Rosqvist et al., 2005), en relación a la presencia de materiales inertes en la corriente de RSU.

Las ventajas de aumentar la degradación de los RSU son, entre otras: reducir el período de tratamiento de lixiviados, incrementar la producción de metano, y acelerar del tiempo de recuperación del terreno del sitio. Las técnicas que pueden ser usadas para incrementar la degradación biológica incluyen la recirculación de lixiviado, adición de nutrientes, reducción del tamaño de partícula, adición de lodos, diseño del RESA y manejo de la temperatura y del contenido de humedad del sistema. La manipulación de estas variables promueve un ambiente mas propicio para la actividad microbiana.

El estudio de las estrategias de manejo de los RESA a escala laboratorio y piloto ha mostrado la validez de aplicar el concepto de técnicas de incremento de biogás con miras de reducir la carga de lixiviados y a la vez aumentar la producción de metano.

El presente trabajo se enfoca en probar si la presencia de materia inorgánica (plásticos, vidrios, metal, etc.) influye en la tasa de producción de metano de los RSU de Pátzcuaro, Michoacán.

Los resultados pueden ser relevantes también para sitios controlados, donde la presencia de materiales inertes suelen ser el único esqueleto que permite intersticios para el flujo de gases, y un soporte adicional para las bacterias.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1 Localización del relleno sanitario

Pátzcuaro se localiza a 2174 m sobre el nivel del mar, al SO de la cd. de Morelia, capital de estado de Michoacán. Asimismo,

la ciudad se ubica al SO del lago del mismo nombre.

El municipio de Pátzcuaro cuenta con un relleno sanitario, el cual se encuentra enclavado en una región de bosque virgen que tiene su entrada en el kilómetro 6.7 de la carretera federal Pátzcuaro-Uruapan. El sitio se denomina CITIR (Centro Integral de Tratamiento de Residuos) y abarca una extensión de 15 km² (Figura 1). El relleno recibe alrededor de 75 toneladas/día de RSU. La región goza de una temperatura media anual de 16.5°C y una precipitación pluvial promedio de 1040 mm en el año.



Figura 1. CITIR de Pátzcuaro, Michoacán, México

2.2 Obtención de materiales

Se obtuvo una muestra de aproximadamente 200 kg de RSU de la capa mas superficial del RESA. Mediante el método del cuarteo descrito en la NMX-AA-015-1985 (SEMARNAT, 2006) se recuperaron alrededor de 50 kg de muestra, la cual se colocó en bolsas negras de plástico. Las bolsas se sellaron herméticamente y se transportaron inmediatamente al laboratorio. Una vez ahí, cada bolsa fue pesada e identificada, para después guardarse a 4°C hasta su utilización.

2.3 Caracterización de RSU

Los RSU se separaron en subproductos, siguiendo la NMX-AA-022-1985 (SEMARNAT, 2006). Paralelamente, se obtuvieron los datos de las caracterizaciones realizadas en el CITIR por el personal de la empresa SIMARS, S. A. de C. V., los cuales también aplicaron las normas mencionadas y hacen muestreos periódicamente. Con los datos obtenidos y los proporcionados, se obtuvieron valores promedio. Los rubros globales fueron:

- Residuos de jardín
- Residuos de comida
- Papel y cartón
- Textiles
- Plástico
- Metales
- Vidrio
- Otros

2.4 Diseño experimental

Se procedió a preparar un lote de materia orgánica (MO) de RSU, moliendo residuos de comida y jardín con un molino de cuchillas hasta que se obtuvo un tamaño de partícula ≤ 0.1 cm (Figura 2).



Figura 2. Residuos molidos de comida y jardín (tamaño partícula ≤ 0.1 cm)

De forma similar, la materia inorgánica (MI) se preparó cortando y rompiendo manualmente hasta un tamaño de partícula no mayor de 1 cm (Figura 3). Dentro de este

rubro se consideraron los componentes de baja biodegradabilidad (textiles, papel y cartón), y los componentes inorgánicos: plástico, metal, vidrio y otros.



Figura 3. Residuos inorgánicos fraccionados a < 1 cm.

Para determinar el efecto de la MI en la degradación de la MO, se prepararon muestras con diferentes proporciones de MO, desde 100 hasta 45%, tal y como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Contenido de las botellas con diferentes proporciones de MO

Materia orgánica (%, p/p)	MO húmeda (g)	MI húmeda (g)	MO seca (g)	MI seca (g)
100	16.63	0.0	10.0	0.0
65	10.81	5.82	6.5	4.86
60	9.98	6.65	6.0	5.56
55	9.15	7.48	5.5	6.25
50	8.31	8.31	5.0	6.95
45	7.48	9.15	4.5	7.64

Para el cálculo de las proporciones se consideraron 10 g de MO (peso seco) como base. En las proporciones menores a 100 % de MO, la mezcla se completó con la porción correspondiente de MI. Una vez preparadas las muestras, éstas se introdujeron en botellas de vidrio de 250 ml (Figura 4).

Ya que para degradar la MO los microorganismos requieren de agua disponible, se establecieron como

humedades de prueba 70 y 90 % (base húmeda), además, se prepararon también por triplicado botellas con 150 ml de agua destilada (Figura 5) y controles, a los cuales no se les adicionó agua. En otras palabras, las botellas con distintas proporciones de MO, se repitieron bajo distintas condiciones de humedad.



Figura 4. Botella de 250 ml con RSU



Figura 5. Adición de agua destilada

Una vez que las botellas contuvieron la mezcla y el agua necesaria para los regímenes de humedad establecidos, se taparon con tapones Suba-seal® (Figura 6), y se sometieron a un venteo de nitrógeno libre de oxígeno (NLO) para desplazar el aire del *headspace* de las botellas. Después de esto se incubaron a 35°C durante 65 días, con monitoreos rutinarios de pH del líquido y de CH₄ del biogás producido.

Después de cada análisis, el headspace se barrió con NLO. El diseño del experimento se presenta en la tabla 2. Las botellas con 150 ml de agua destilada estuvieron a 93 % de humedad en promedio.



Figura 6. Botella con tapón Suba-seal®.

Tabla 2. Diseño experimental

COMPOSICIÓN (% peso)	HUMEDAD DE OPERACIÓN (No. de botellas)				Humedad alcanzada (%)
	Controles	70 %	90 %	150 mL	
100	3	3	3	3	93.99
65	3	3	3	3	93.18
60	3	3	3	3	93.06
55	3	3	3	3	92.95
50	3	3	3	3	92.83
45	3	3	3	3	92.71
Total	18	18	18	18	93.12 Prom

2.5 Estudios analíticos

Determinación de humedad

La humedad de los RSU se determinó mediante el método de la pérdida de peso al someter las muestras de MO y MI a 105°C por 24 hs.

Con base a estos contenidos de humedad se calculó el agua a adicionar para alcanzar las humedades del 70 y 90 %.

Determinación de pH

En el caso de las botellas al 90 y 93% de humedad, la fracción líquida fue muestreada (5 ml/semana) para dar seguimiento a los cambios del pH a través del experimento, para lo cual se utilizó un potenciómetro (Denver Instruments VB10) y el método descrito en la NMX-AA-013-SCFI-2001 (Figura 7).



Figura 7. Medición de pH en lixiviados

En las botellas al 70 % con las diferentes proporciones de MO y MI a 70% de humedad, no había suficiente líquido sobrenadante para medir este parámetro por la norma anterior, su determinación se realizó tanto al inicio y como al término de los 65 días, con el mismo equipo y siguiendo el método de la NMX-AA-25-1984.

Determinación de metano

La determinación de metano (CH_4) se realizó mediante cromatografía de gases. El *headspace* de las botellas fue muestreado tomando $10\mu\text{L}$ para inmediatamente inyectar en un equipo VARIAN (CP 3800), con un detector FID y una columna (2m de longitud y 2 mm de DI) de acero inoxidable empacada con 5% de neopentilglicol sebacato + 1% H_3PO_4 . El gas acarreador se mantuvo con un flujo de 35 mL/min. La temperatura del horno, inyector y detector se mantuvieron a 80, 200 y 210°C , respectivamente.

III. RESULTADOS

3.1 Estudio de caracterización de RSU

El estudio de la composición de los RSU del CITIR arrojó resultados que se agruparon en ocho categorías. La tabla 3 muestra el promedio de los resultados obtenidos en el laboratorio con la caracterización efectuada

en el CITIR. Como puede apreciarse los residuos de comida y jardín, suman el 65 % de la composición total, los cuales representan la MO rápidamente biodegradable, mientras que la fracción orgánica lentamente biodegradable la integran: textiles, papel y cartón.

El contenido de humedad fue de 39.9 % para la mezcla de MO y 16.5 % para la mezcla de MI.

Tabla 3. Caracterización de los RSU de Pátzcuaro, Michoacán

COMPONENTES	COMPOSICIÓN (% peso)
Residuos de jardín	33.48
Residuos de comida	31.14
Papel y cartón	8.05
Textiles	3.79
Plástico	11.10
Vidrio	2.47
Metales	0.86
Otros	9.11
TOTAL	100.00

3.2. Evolución de pH

El pH se monitoreó en el líquido de las botellas a 90 y 93% de humedad. Cabe mencionar que sus comportamientos fueron similares en ambos niveles de humidificación, por lo que solo se muestra la evolución de este parámetro en las botellas al 93 % (Figura 8).

Para el día 14 de la experimentación se observó un descenso pronunciado en todas las muestras, alcanzando el menor pH (4.93) las botellas cargadas con solo MO (100 %), mientras que para las botellas con 45 %, el pH fue de 5.36. Para estas últimas su menor pH (5.20) fue el día 33. A partir de día 34 se pudo apreciar una recuperación, alcanzando todas las botellas sus valores máximos para el día 49 (alrededor de 7.5).

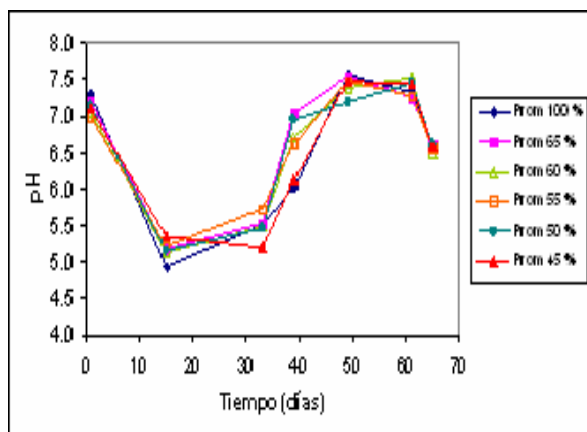


Figura 8. Evolución del pH en botellas al 93%

En la tabla 4 se presentan los pH al inicio y término de la experimentación para los tres niveles de humidificación. Si bien los valores de las muestras al 90 % son ligeramente superiores a las de 93%, todas las botellas tuvieron una recuperación hasta valores neutros, lo cual es importante para permitir condiciones favorables para la metanogénesis.

Tabla 4. Valores de pH al inicio y término del experimento

MO (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD					
	93%		90%		70%	
	T ₀	T _f	T ₀	T _f	T ₀	T _f
100	7.3	6.6	7.10	6.95	7.10	5.84
65	7.2	6.7	7.29	6.90	7.29	5.85
60	7.1	6.6	7.21	6.86	7.21	5.65
55	7.0	6.6	7.25	6.74	7.25	5.72
50	7.1	6.7	7.32	6.80	7.32	5.88
45	7.1	6.7	7.29	6.88	7.29	6.26

T₀ como día de inicio de experimentación y T_f como día final

Sin embargo, al parecer el grupo de botellas con 70% de humedad no fue capaz de superar totalmente de la fase acidogénica, pues sus valores de pH fueron cercanos a 6.

3.3 Estudio de producción de metano

La producción de CH₄ se siguió a lo largo de 65 días, en las botellas de los tres diferentes regimenes de humedad. La figura 9 muestra la tasa de producción de CH₄ acumulado.

Independientemente del régimen de humedad, se detectó producción de CH₄ en el día 34, excepto en los controles a los que no se les adicionó agua. La mayor tasa de producción de CH₄ correspondió, como se esperaba, al grupo de botellas con mayor contenido de humedad, y viceversa.

Sorprendentemente en los tres regímenes de humedad, el grupo con mayor producción de CH₄ (ml/g MO seca) correspondió al mínimo de presencia de MO (45 %), mientras que en los regímenes de 90 y 93 % los grupos con el máximo de MO (100 %) revelaron la metanogénesis menos vigorosa. Los resultados de las botellas con 93% de humedad mostraron un grupo separado del experimento con 100% de MO.

Al día 65, se detectó una tasa de producción de CH₄ (ml/g MO seca) de solamente la mitad en las botellas con 100% de MO, en comparación a las botellas con 45% de MO.

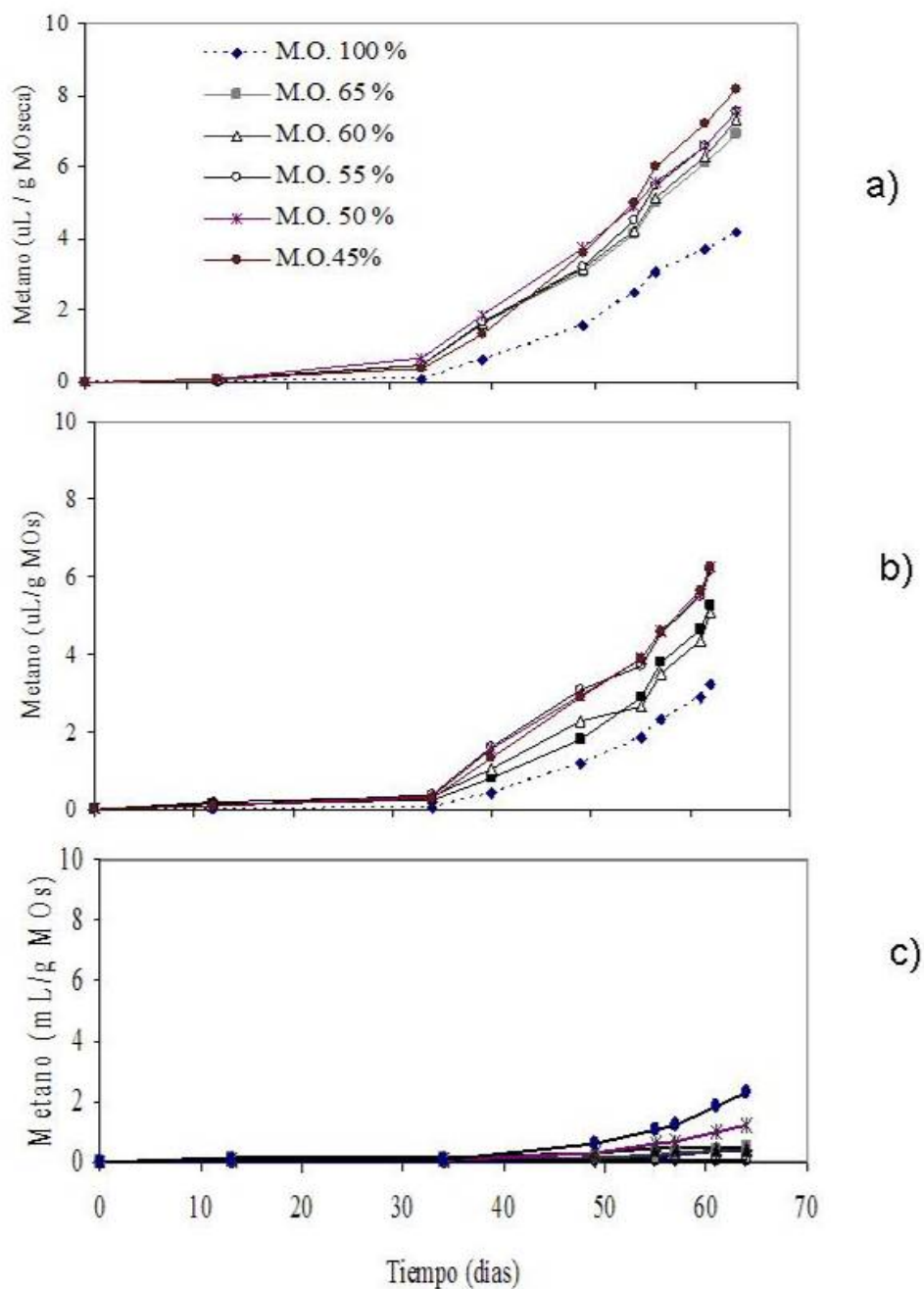


Figura 9 Tasas de producción de metano (acumulado) en los regímenes de humedad: a) 93 %, b) 90% y c) 70%

Es importante señalar que al tabular el CH₄ acumulado con respecto a los RSU (μL/gRSU), como se muestra en la tabla 5, para los regímenes de 93 y 90 % de humedad se encontró diferencias pequeñas entre las mezclas preparadas con diferentes fracciones de MO y MI, no así para las botellas al 70 % de humedad, donde el agua disponible es menor a 9 g/g MO seca.

Tabla 5. Producción de metano y agua disponible

MO %	CONTENIDO DE HUMEDAD					
	93 %		90 %		70 %	
	μL.g ⁻¹ RSU	gH ₂ O. g ⁻¹ MOs	μL.g ⁻¹ RSU	gH ₂ O. g ⁻¹ MOs	μL.g ⁻¹ RSU	gH ₂ O. g ⁻¹ MOs
100	2.53	15.66	1.94	9.00	0.24	2.33
65	2.71	23.89	2.06	15.73	0.18	4.08
60	2.63	25.85	1.83	17.34	0.18	4.49
55	2.50	28.16	2.03	19.23	0.27	4.99
50	2.27	30.94	1.88	21.50	0.37	5.58
45	2.21	34.33	1.70	24.28	0.62	6.30

IV. DISCUSION

Las diferencias de la evolución del pH en los regímenes de 90 y 93 % de humedad hace evidente que es independiente de la proporción de MO, pero altamente sensible a la cantidad de agua disponible con respecto a las muestras al 70 %, las cuales no alcanzaron totalmente la fase metanogénica (Vavilin et al., 2004; Wreford et al., 2000).

Fue posible observar una correspondencia en el inicio de la generación de metano, con respecto a la elevación de los valores de pH para el día 34 en las botellas al 90 y 93 % de humedad, lo cual corrobora el establecimiento de la fase metanogénica (Nguyena et al., 2007; Rosqvist et al., 2004).

Los resultados obtenidos mostraron que, el proceso de fermentación metanogénica de RSU a escala laboratorio y a 35°C de incubación, no produce una diferencia significativa en la producción de metano cuando la proporción de MO abarca de 45-65 %. Sin embargo, el que la producción de metano del rango mencionado sea mayor que su contraparte con 100 % de MO fue sorpresivo.

Esto puede explicarse debido a que, aunque en términos solo de MO, las proporciones cambian (Tabla 1), también es cierto que el experimento de 45 % de MO contaba con un total de 11.96 g (base seca) de mezcla total. Mientras tanto, al experimento análogo (100 % MO), se le añadió solo un total de 10 g (base seca). Esto corresponde a un 20 % de aumento de material total en cada botella. Es posible, pues, que el aumento en la tasa de producción de metano se deba al aumento global de material disponible, aunque no necesariamente se trate de material biodisponible para la digestión anaerobia. Esto corresponde con reportes que establecen que la presencia de microorganismos metanogénicos adheridos a superficies por gramo de material, es usualmente un orden de magnitud mayor que el número de microorganismos libres por ml de matriz líquida, especialmente en acuíferos contaminados con lixiviado (Holm et al., 1992). También es posible que el aumento de material provea superficie de adherencia de protozoos anaerobios los cuales permanecen enquistados en ambientes secos, y que se vuelven activos en muestras de residuos sólidos humidificados, lo que a su vez permite la reactivación de bacterias metanogénicas (Biagini, et al., 1998; Bland and Fenchel, 1991; Schwarz & Frenzel, 2005).

Los resultados presentados sugieren hacer más extensiva la investigación, hacia la presencia de metanógenos tanto libres como adheridos a superficies, así como a la influencia de diferentes grados de compactación, representativos del RESA local, en lisímetros de mezclas completas de RSU.

V. CONCLUSIONES

- La humedad del sistema probó ser uno de los factores determinantes en el establecimiento de la fase metanogénica de degradación de RSU.
 - En pruebas laboratorio, de 65 días de duración, es evidente que la producción de metano no está directamente relacionada con la presencia de MO (% peso seco).
 - Igualmente, cambios del 20 % en la proporción de humedad, influyen la recuperación de pH del sistema a valores apropiados para la metanogénesis.
- Es posible que la MI provea una parte importante de microorganismos o que sirve de soporte para bacterias productoras de metano.

AGRADECIMIENTO

- Los autores agradecen el financiamiento del fondo mixto SEP-CONACyT mediante el proyecto SEP-2004-C01-47187.
- Igualmente, se reconoce el generoso financiamiento de la empresa SIMARS, S.A. de C.V. quien también contribuyó de manera sustancial al desarrollo de la presente investigación.
- Especialmente se agradece la excelente asistencia técnica de la Bióloga Ma. de Jesús Santana-Galán.
- Se reconoce la participación de la UMSNH al brindar el apoyo mediante el espacio de investigación en el laboratorio de medio ambiente y residuos sólidos, en el INIRENA.

REFERENCIAS

- Biagini, G. A., J. B. Finlay, and D. Lloyd, 1998. Protozoan stimulation of anaerobic microbial activity: enhancement of the rate of terminal decomposition of organic matter. *FEMS Microbiology Ecology* 27 (1), 1-8.
- Bland, J. F. and T. Fenchel, 1991. An anaerobic protozoon, with symbiotic methanogens, living in municipal landfill material. *FEMS Microbiology Letters* 85 (2), 169-180.
- Devlin, J. F., 1990. Field evidence for the effect of acetate on leachate alkalinity ground. *Water* 28 (6), 863-867.
- Ejlertsson, J., E. Johansson, A. Karlsson, U. Meyerson and B. H. Svensson, 1996. Anaerobic degradation of xenobiotics by organisms from municipal solid waste under landfilling conditions. *Biomedical and Life Sciences* 69 (1), 67-74.
- Fielding, E. R., D. B. Archer, E. C. Demacario and A. J. L. Macario, 1988. Isolation and characterization of methanogenic bacteria from landfills. *Appl. Environ. Microbiol* 54, 835-836.
- Garcia, J. L., B. K. C. Patel and B. Ollivier, 2000. Taxonomic phylogenetic and ecological diversity of methanogenic Archaea. *Anaerobe* 6, 205-226.
- Holm, P. E., P. H. Nielsen, H. J. Albrechtsen, and T. H. Christensen, 1992. Importance of unattached bacteria and bacteria attached to sediment in determining potentials for degradation of xenobiotic organic contaminants in an aerobic aquifer. *Appl. Environ. Microbiol* 58, 3020-3026.
- Komilis, D. P., R. K. Ham and R. Stegmann, 1999. The effect of landfill design and operation practices on waste degradation behavior: a review. *Waste Management and Research* 17 (1), 20-26.
- Lefebvre, X., S. Lanini and D. Houi, 2000. The role of aerobic activity on refuse temperature rise, landfill experimental study. *Waste Management and Research* 18 (5), 444-452.
- Nguyena, P. H. L., P. Kuruparana and C. Visvanathan, 2007. Anaerobic digestion of municipal solid waste as a treatment prior to landfill. *Bioresource Technology* 98(2), 380-387.
- NMX-AA-013-SCFI-2001. Proyecto de Norma Mexicana para la determinación de pH en residuos sólidos.
- Rosqvist, N. H., L. H. Dollar and A. B. Fourie, 2005. Preferential flow in municipal solid waste and implications for long-term leachate quality: valuation of laboratory-scale experiments. *Waste Management & Research* 23(4), 367-380.
- Schwarz, M. V. J., and P. Frenzel, 2005. Methanogenic symbionts of anaerobic ciliates and their contribution to methanogenesis in an anoxic rice field soil. *FEMS Microbiology Ecology* 52 (1), 93-99.
- SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2006. Normas mexicanas vigentes. (Documento Web, Último acceso: Diciembre 20, 2006) <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/normasmexicanasvigentes.aspx>
- Vavilin, V. A., L. Y. Lokshina, J. P. Jokela and J. A. Rintala, 2004. Modeling solid waste decomposition. *Bioresource Technology* 94(1), 69-81.
- Wreford, K. A., J. W. Atwater and L. M. Lavkulich, 2000. The effects of moisture inputs on landfill gas production and composition and leachate characteristics at the Vancouver Landfill Site at Burns Bog. *Waste Management and Research* 18 (4), 386-392.

Delineación de la pluma contaminante en el acuífero superior por un relleno sanitario municipal: Estudio de caso en Mexicali, B.C., México.

Jaime A. Reyes-López¹, Jorge Ramírez-Hernández¹, Octavio Lázaro-Mancilla¹, Concepción Carreón Díazconti¹ y Miguel Martín-Loeches Garrido².

¹Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México.
jaime@iing.mx; jramirez@iing.mx; olazaro@iing.mx; ccarreond@iing.mx

²Depto. Geología, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, Madrid, España.

e-mail: miguel.martin@uah.es

Resumen

El acuífero libre del Valle de Mexicali que se ubica entre 1 y 3 m de profundidad, tiene un alto grado de vulnerabilidad a procesos de contaminación superficiales como es el lixiviado de los residuos sólidos. El objetivo del presente estudio es definir la extensión y dirección de flujo de la pluma contaminante en el acuífero ocasionado por el relleno sanitario ubicado en la Ciudad Guadalupe Victoria (Km 43, municipio de Mexicali). Aunque la precipitación es escasa (menos de 60 mm anuales) la aplicación periódica de agua para sofocar incendios y los riegos agrícolas en los alrededores del relleno sanitario elevan el nivel freático y aceleren el movimiento de la pluma contaminante. La conductividad eléctrica en los pozos cercanos al basurero es del orden de 14.5 mS/cm y en los pozos domésticos de 4 mS/cm, lo que muestra el fuerte impacto del relleno sobre el acuífero. El perfil de georadar del lado Este presenta dos áreas bien definidas. Una de ellas, que se extiende desde el borde del relleno hasta aproximadamente 10 metros, se relaciona a la alteración directa provocada por la pluma de contaminación del basurero. La segunda zona, que se extiende hasta 80 m, se relaciona al desplazamiento máximo de esta pluma de contaminación. La profundidad a la que se define esta pluma es de aproximadamente 3.5 m.

Abstract

The nonconfined Mexicali Valley aquifer shows a high degree of vulnerability to superficial contamination processes because its phreatic level is located 1-3 m depth. The objective of the

study is to evaluate the extension and flow direction of the contaminant plume in the aquifer caused by the landfill located at Guadalupe Victoria town (Mexicali Valley). Although rain is scarce (precipitation less 60 mm/year) the frequent application of water to extinguish fires in the landfill and irrigated water for agricultural activity causes an increase in phreatic level and accelerates water movement and therefore of polluting agents. Electrical conductivity at piezometers near the landfill is about of 14.5 mS/cm and at the domestic wells about 4 mS/cm; this difference shows the influence of the landfill in the aquifer. Geo-radar studies, along east profile, showed two disturbed areas. The nearest area extends up to 10 m of the edge; it could be related with the principal terrain alteration because of contaminant plume. A second one is extended up to 80 m of the edge and can be related to the maximum displacement of the plume. Maximum depth of the plume is in the second area and is about 3.5 m.

Palabras Clave - Relleno Sanitarios, pluma contaminante, acuífero, Valle de Mexicali, México.

I INTRODUCCIÓN

El efecto de los rellenos sanitarios sobre el medio ambiente y principalmente sobre el agua subterránea ha sido estudiado desde finales de la década de 1940, en USA (Griffin et al., 1976). Esto ha permitido que se implementen medidas para su control y ma

nejo, principalmente en los países desarrollados.

Estas medidas se han extrapolado a todo el mundo; en los países en desarrollo, como México, logrando avances importantes para llegar a tener un control adecuado sobre la disposición final de la basura en rellenos sanitarios, sin embargo aún queda mucho trabajo por realizar. Así, existen diferentes causas por la que no se logra una disposición final adecuada de la basura que va desde una mala gestión gubernamental hasta la falta de organización social e industrial.

En México, los rellenos sanitarios son manejados y controlados por los gobiernos municipales, esto incluye desde la selección de sitios, la colección, el transporte y disposición final del residuo. De este modo, la instalación de estos rellenos sanitarios sin estudios previos de impacto es práctica frecuente y los Municipios en Baja California no son la excepción.

El municipio de Mexicali tiene una población de 855,962 habitantes de los cuales 653,046 habitantes residen en la ciudad de Mexicali. El resto de la población reside a lo largo del Valle de Mexicali que cuenta con 2,266 localidades registradas (INEGI, 2007). De estas localidades, 57 tienen entre 500 a 2,499 habitantes; 14 tienen entre 2,500 a 14,999 habitantes; 1 más de 15,000 habitantes y las restantes tienen menos de 500 habitantes. Así, la recolección y disposición final de los residuos sólidos se ha vuelto caótico, ya que los poblados no cuentan con un sistema de recolección adecuado generándose focos de contaminación puntuales diseminados. Aunado ha esto los sitios de disposición final o confinamiento no han sido los adecuados,

incluido el relleno sanitario de la ciudad. Según datos del INEGI (2007), el Estado de Baja California cuenta con solo dos rellenos sanitarios y 1 relleno de tierra controlada.

Por otro lado, el acuífero del Valle de Mexicali alcanza profundidades mayores a los 3 km y del cual se extraen en sus primeros 200 m (en promedio) más de 750×10^6 m³ anuales. La naturaleza libre del acuífero y su profundidad somera, que se ubica entre 1 y 3 m, le hace tener un alto grado de vulnerabilidad a procesos de contaminación superficiales como es el lixiviado de los residuos sólidos.

El presente estudio pretende definir la extensión y dirección de flujo de la pluma contaminante en el acuífero ocasionado por el relleno sanitario ubicado en la Ciudad Guadalupe Victoria (Km 43, municipio de Mexicali). De este modo, aunque la precipitación registrada en el Valle de Mexicali es escasa (menos de 60 mm anuales) la aplicación periódica de agua para sofocar incendios y los riegos agrícolas en los alrededores del relleno sanitario elevan el nivel freático y aceleren el movimiento de la pluma contaminante.

La migración de contaminantes desde un vertedero de residuos domiciliarios se da con mayor velocidad en zonas ubicadas sobre terrenos con textura arenosa no consolidada observándose efectos del lixiviado de varios cientos de metros (Palmquist y Sendlein, 1975; Kimmel y Braids, 1975; MacFarlane et al., 1983; entre otros).

En algunos casos el lixiviado contaminante puede causar serios deterioros de la calidad del agua con el subsecuente efecto negativo sobre la salud de las personas que la utili-

zan, como el caso señalado en Apgar y Satherthwaite (1975).

El vertedero de residuos domiciliarios de Cd. Guadalupe Victoria esta ubicado en una zona agrícola donde el acuífero superior esta ubicado a una profundidad somera aproximada de 1 metro. La textura del suelo en la zona es franco arcilloso-arenoso con importantes lentes arenosos dado el ambiente de depósito deltaico que induciría un incremento en el flujo de contaminantes.

Estudios previos realizados en esta zona (Ramírez, 2003, Com. Pers.) han mostrado un agua de una calidad media con posibilidades de utilizarse en ciertos cultivos y apta para el uso doméstico como en el riego de jardines, limpieza y para dar a los animales de granja (gallinas, vacas, chivas, borregos, perros, caballos, entre otros). Vecinos del sitio han mencionado un olor raro en el agua extraída de sus pozos que se ha asociado a la cercanía del vertedero.

El movimiento de la pluma contaminante esta condicionado a las propiedades geohidrológicas del subsuelo y a la diferencia de gradiente hidráulico (Ley de Darcy). No se conocen las propiedades hidráulicas del subsuelo, aunque al norte del sitio se encuentra un canal de drenaje agrícola que podría estar, funcionando efectivamente como drenaje, captando el lixiviado del relleno sanitario. El bombeo de pozos cercanos al sitio produce una diferencia de potencial que podría acelerar el flujo hacia ellos, ocasionando una contaminación del agua extraída a corto o mediano plazo.

De este modo, se propuso realizar un estudio para cuantificar el impacto real que esta ocasionado el relleno sanitario sobre el acuífero libre. Los resultados del estudio se informarán a las autoridades municipales para que se realicen las medidas oportunas para eliminar o reducir el posible problema.

1.1 Área de estudio.

El vertedero de Cd. Guadalupe Victoria en el municipio de Mexicali se ubica aproximadamente a 43 km al sur de la Cd. de Mexicali con una extensión de 200 X 200 m y aproximadamente a 3 km al sureste del poblado (figura 1).

Fisiografía y geología.

En el relleno sanitario, la textura dominante es franco arcilloso-arenoso y limoso, acorde con los suelos aluviales derivados de la erosión de la Sierra Cucapá y de los sedimentos no consolidados del delta del Río Colorado. La altura media del área de estudio es aproximadamente de 10 metros sobre el nivel del mar (msnm) y alrededor del relleno no se presentan diferencias topográficas visibles.

El relleno sanitario es parte del Delta del Río Colorado, con un área aproximada de 8,450 kilómetros cuadrados. El poder de erosión y acarreo de los materiales transportados por el Río Colorado a través de miles de años y depositados en ese lugar, dio origen a una gran planicie que en México recibe el nombre del Valle de Mexicali. La superficie del Valle de Mexicali, comprende aproximadamente 350,000 hectáreas (Soleño 1972).

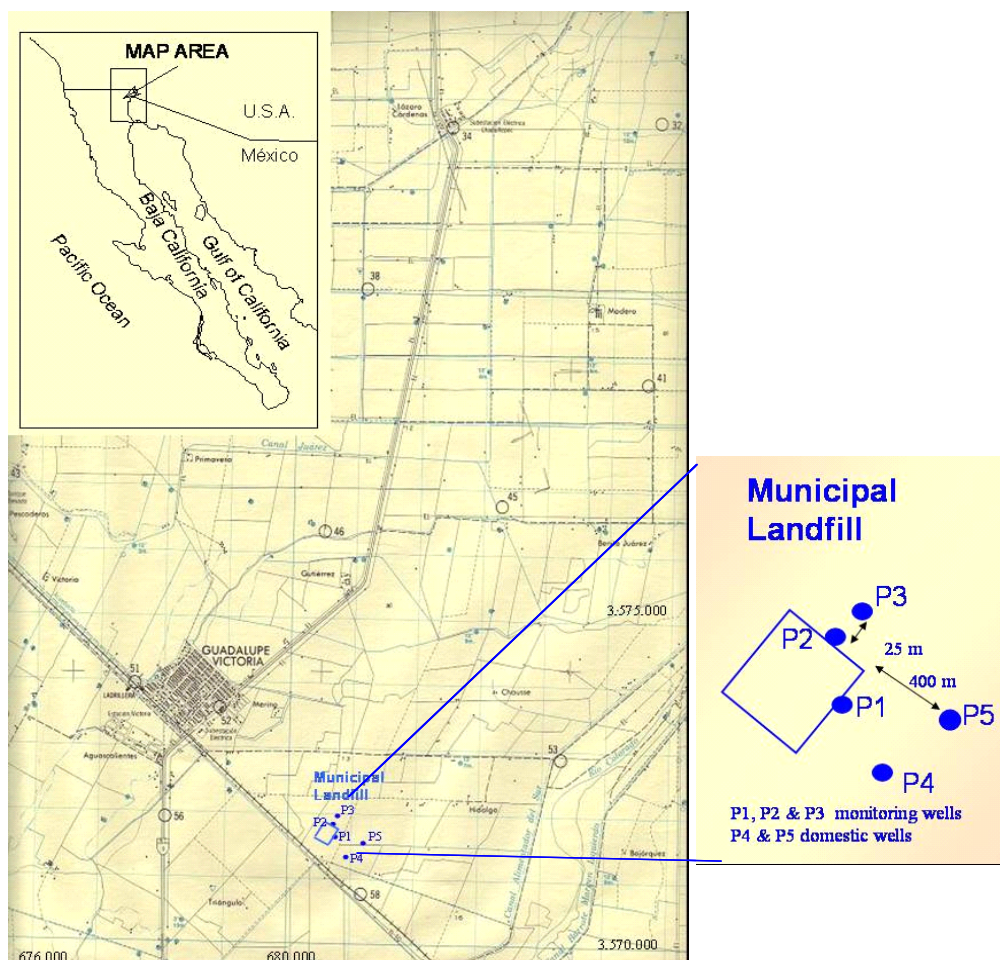


Figura 1. Localización del área de estudio y ubicación aproximada (no están a escala) de los pozos domésticos y de control (adaptada de INEGI, 1999).

Los sedimentos de la depresión en que se encuentra actualmente el Delta, se desarrollaron desde el Mioceno y el Cenozoico, la última invasión marina en el Delta del Colorado hacia el mar de Saltón, ocurrió en el Pleistoceno Medio. En el Cuaternario, hubo actividad volcánica, como lo atestigua el Volcán extinto de Cerro Prieto y las protuberancias de obsidiana que se encuentran en el Suroeste del Mar de Saltón.

La gradación del material depositado en el valle depende de la energía del depósito. Estos van desde cantos rodados, para seguir progresivamente con grandes capas de grava gruesa, mediana y pequeña; arena muy gruesa, gruesa y fina, limo y por último, en las zonas de menor energía, arcillas. Los materiales más finos son los que se encuentran formando los suelos agrícolas del Valle.

II MATERIALES Y MÉTODOS

Para definir la extensión y dirección de flujo de la pluma contaminante ocasionada por el relleno sanitario se instaló una serie de piezómetros alrededor de este, y se realizaron estudios geofísicos de resistividad y de radar.

2.1 Diseño experimental

De forma radial al relleno sanitario (ver figura 1) se instaló una red piezométrica con el propósito de determinar las características fisicoquímicas del agua y la dirección del flujo subterráneo. Los piezómetros se colocaron a 2 m y a 25 m del borde del basurero hacia los lados norte y este. También se utilizaron dos pozos domésticos localizados a 400 m del basurero (ver figura 1). Cabe aclarar que inicialmente se colocaron otros 2 piezómetros hacia el lado este del relleno, esto es a 50 y 100 m del bordo; sin embargo, estos fueron destruidos durante la labor agrícola.

La extensión de la pluma contaminante se evaluó mediante 2 sondeos eléctricos verticales (AB/2 entre 20 y 50 m) y 3 perfiles de georadar (100 Mhz). En este trabajo solo se presenta el perfil ubicado hacia el lado Este del relleno sanitario.

Los pozos fueron perforados a una profundidad aproximada de 6 m con una perforadora hidráulica con barrena helicoidal. Se perforó con un diámetro de 4 pulgadas todo el pozo. La terminación fue con tubo de PVC de 2 pulgadas con tubería lisa de 0 a 3 metros y tubería ranurada de 3 a 6 metros y descubierto en la parte inferior. La distancia final al borde del basurero fue de

aproximadamente 1 y de 25 metros (ver figura 1).

2.2 Estudios geofísicos

Los sondeos eléctricos verticales se realizaron utilizando el Método Schlumberger con una apertura de AB/2 de 20 a 50 metros. Para llevar a cabo este procedimiento se requiere que cuatro electrodos sean enterrados en el terreno en línea recta inyectándose un valor conocido de corriente eléctrica que circula entre los electrodos exteriores y midiéndose la caída de potencial en los electrodos interiores. Los electrodos de corriente A y B se cambian de posición hasta la apertura mencionada. El esquema del método se muestra en la figura 2. El equipo utilizado es un equipo especializado para estudios geofísicos denominado Bison Instruments 2390-R.

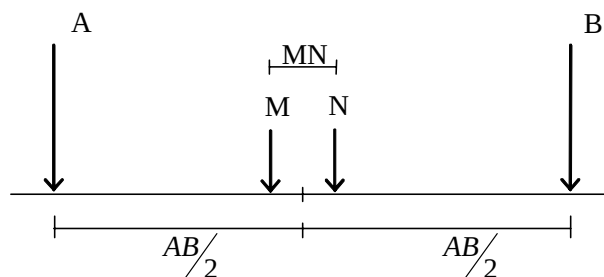


Figura 2. Esquema del arreglo Schlumberger utilizado para los sondeos eléctricos verticales.

De este modo, a partir de la deducción de la Ley de Ohm para un semiespacio homogéneo se obtiene la expresión que se utiliza para calcular la resistividad del terreno (ecuación 1).

$$\rho_a = \pi/4 \frac{(AB^2 - MN^2)}{MN} \frac{\Delta V}{I} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde ΔV es la caída de potencial e I la corriente inyectada.

Esta resistividad es una resistividad promedio de un semiespacio del suelo proporcional a una semiesfera de radio igual a la separación entre electrodos. De este modo, la profundidad de investigación es proporcional a la apertura de los electrodos. Esta resistividad es denominada Resistividad Apparente (ρ_a).

El georadar emplea la reflexión de ondas electromagnéticas a frecuencias que van de los 12.5 MHz a 1 GHz para obtener imágenes de estructuras someras del subsuelo (Davies y Annan, 1989). Es de uso común en estudios geotécnicos y ambientales para encontrar tanques y tuberías enterradas, estudio de sitios arqueológicos antes de las excavaciones así como búsqueda de sistemas de fracturas someros, por lo que pueden ser utilizados para caracterizar suelos agrícolas. Las imágenes resultantes son causadas por cambios en la constante dieléctrica del material o capas delgadas conductoras (Lázaro-Mancilla y Gómez Treviño, 1996, 2000).

La posibilidad de obtener imágenes depende de la constante dieléctrica del material, así como de la concentración de arcillas o agua. Los medios ambientes secos generalmente proporcionan mayor penetración que las áreas con suelos húmedos. Para los estudios realizados se utilizó un georadar marca RAMAC con frecuencia nominal de operación de 100 MHz y la técnica de offset común.

Ya que el objetivo de los estudios geofísicos fue definir la ubicación de plumas contami-

nantes producto del lixiviado de la basura se llevaron a cabo 3 perfiles geofísicos de georadar, y dos sondeos eléctricos verticales a 125 m y 150 m. Como se mencionó anteriormente, en este trabajo solo se presenta el perfil ubicado al Este del relleno sanitario. El perfil está dispuesto de forma radial y su extremo derecho (posición a 180 m) está ubicado en el borde del basurero.

2.3 Características hidráulicas del acuífero (k , T , m y S)

Permeabilidad (k) y Transmisividad (T).

La permeabilidad o conductividad hidráulica es un parámetro que mide el caudal que pasa por una sección de acuíferos por unidad de tiempo y depende de las características del terreno y del fluido. Ahora ya que la transmisividad es el producto de la conductividad y el espesor de acuífero, entonces estos parámetros serían dependientes o correspondientes si se considera un mismo espesor de acuífero.

En el área de estudio se presentan valores de transmisividad entre 0.01 - 0.05 m²/seg (864-4,320 m²/día) y caudales específicos de los pozos de aproximadamente 10 lps/m cuya distribución se considera semejante a la de la transmisividad (SARH, 1972).

Estos valores corresponden a sedimentos con mayor contenido de arenas y con intercalaciones de gravas y arcillas. La conductividad hidráulica para este tipo de material varía de 3×10^{-4} a 6×10^{-2} m/día (Custodio y Llamas, 1983) aunque otros autores presentan valores entre 10^{-7} a 10^{-2} m/s -0.0864-864 m/día (Freeze and Cherry, 1979).

Porosidad (m) y coeficiente de almacenamiento (S)

En los acuíferos libre como el estudiado, el coeficiente de almacenamiento coincide con la porosidad eficaz (Villanueva e Iglesias, 1984). La porosidad para las arenas varía de 25 a 50 % (Freeze and Cherry, 1979). Este valor va disminuyendo dependiendo del grado de pureza que tenga esta. La porosidad eficaz es la porosidad gravífica, esto es, aquella que se puede drenar fácilmente por gravedad en tiempos suficientemente largos. De este modo, dada la litología que se presenta en la zona de estudio y que consiste de arenas con intercalaciones de capas limos arcillosos y pequeñas capas de arenas los valores de porosidad eficaz pueden ser de hasta 25 %.

2.4 Mediciones y muestreo

El nivel estático se midió con una sonda manual marca SOLNIST que emite una señal visual y sonora al momento de llegar al espejo de agua. Después de haber medido el nivel donde se encuentra el agua se mide con la misma sonda manual la profundidad del pozo. La cantidad de agua existente en el pozo se determina restando el nivel estático y la profundidad del pozo por lo que se puede decir que en el pozo existen "X" m ocupados de agua.

El muestreo se realizó con un matraz erlenmeyer de 1000 ml cerrado mediante un tapón de caucho en el cual se conectaron 2 conductos flexibles. Uno de los conductos flexibles se conecta a una bomba de vacío y el conducto restante se introduce dentro del pozo hasta llegar abajo del nivel de

agua. Al iniciar el vacío el matraz comienza a recibir agua del pozo, la primera cantidad obtenida aproximadamente unos 25-50 ml se utilizan para enjuagar el matraz y otros 25-50 ml para enjuague del contenedor de muestra.

Para renovar el agua contenida en el pozo y evitar influencia de efectos ambientales como la evaporación se realizó el vaciado de los pozos (dependiendo de la cantidad de agua en el mismo).

Por lo regular se recogieron 1000 ml de muestra, a la cual se le realizan análisis de conductividad, pH, temperatura y oxígeno disuelto (utilizando un medidor) in situ. La muestra se transportó en hieleras hasta el laboratorio tratando de mantener una temperatura de 4 °C.

2.5 Análisis químico

Los análisis de las muestras se realizaron en el Laboratorio de Agua y Suelo de la Facultad de Ciencias Agrícolas y en el Laboratorio de Química y Ambiental del Instituto de Ingeniería. Los parámetros analizados fueron los relacionados a salinidad y en una de los muestreos se analizó DBO y DQO.

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La secuencia estratigráfica obtenida de los piezómetros de observación mostró una continuidad en los estratos cortados, observándose del estrato más superficial al más profundo: arenas limosas, arenas limosas húmedas, arcillas y arenas saturadas. El nivel freático se encontró a 1.05 m de profundidad del nivel del terreno.

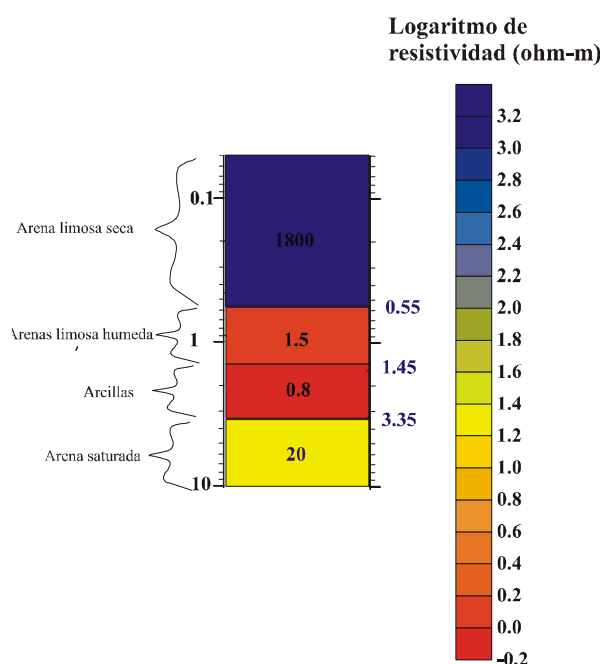


Figura 3. Interpretación del Sondeo Eléctrico Vertical cercano al Pozo 2 de la Línea Este del Relleno Sanitario, Cd. Guadalupe Victoria.

La diferencia más significativa en la interpretación de los SEVS (figura 3 y 4) esta en la capa más superficial

Esta capa mostró una resistividad eléctrica de 27 ohm-m, para el SEV más próximo al relleno (posición 150 m del perfil vea figura 5), mientras que para el SEV más alejado del relleno (posición 125 m) mostró 1,800 ohm-m. Esta disminución en la conductividad eléctrica podría estar asociada a la presencia de lixiviado de la basura en el primer estrato, antes de llegar al nivel freático, y a 30 m del borde.

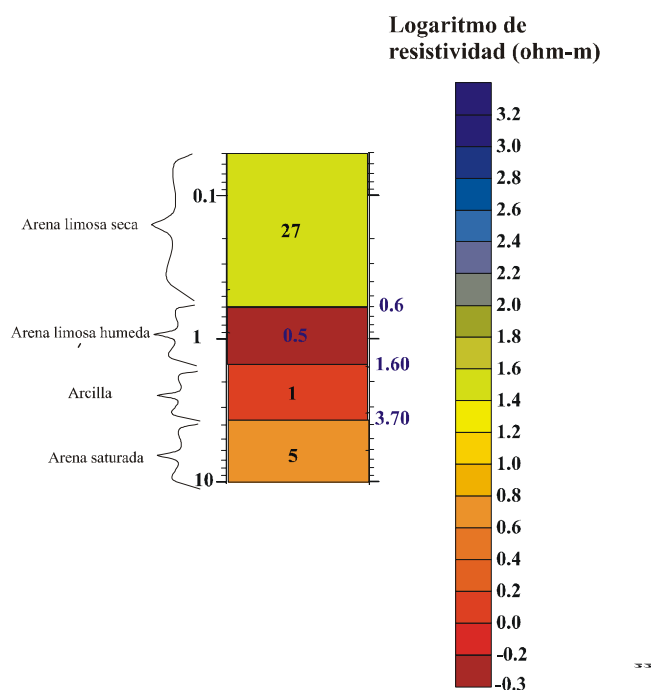


Figura 4. Interpretación del Sondeo Eléctrico Vertical Estación 150m+00 de la línea Este del Relleno Sanitario, Cd. Guadalupe Victoria, Baja California

Por su parte la sección de georadar (figura 5) corrobora la continuidad de las capas observada en los piezómetros y los SEVS. Además, muestra una zona intermedia anómala (zona 2) diferente a las zonas 1 y 3 de los costados del perfil. Esta diferencia podría estar asociada a la extensión máxima del lixiviado. No obstante, la extensión de la pluma contaminante parece estar fuertemente indicada en la zona 1 del perfil. De este modo, el perfil de georadar del lado Este presenta dos áreas bien definidas. Una de ellas, que se extiende desde el borde del relleno hasta aproximadamente 10 metros, se relaciona a la alteración directa provocada por la pluma de contaminación del basurero.

La segunda zona, que se extiende hasta 80 m, se relaciona al desplazamiento máximo de esta pluma de contaminación. La profundidad a la que se define esta pluma es

de aproximadamente 3.5 m. Los otros perfiles de georadar (no presentados) muestran una similitud con lo mostrado en la sección de la figura 5.

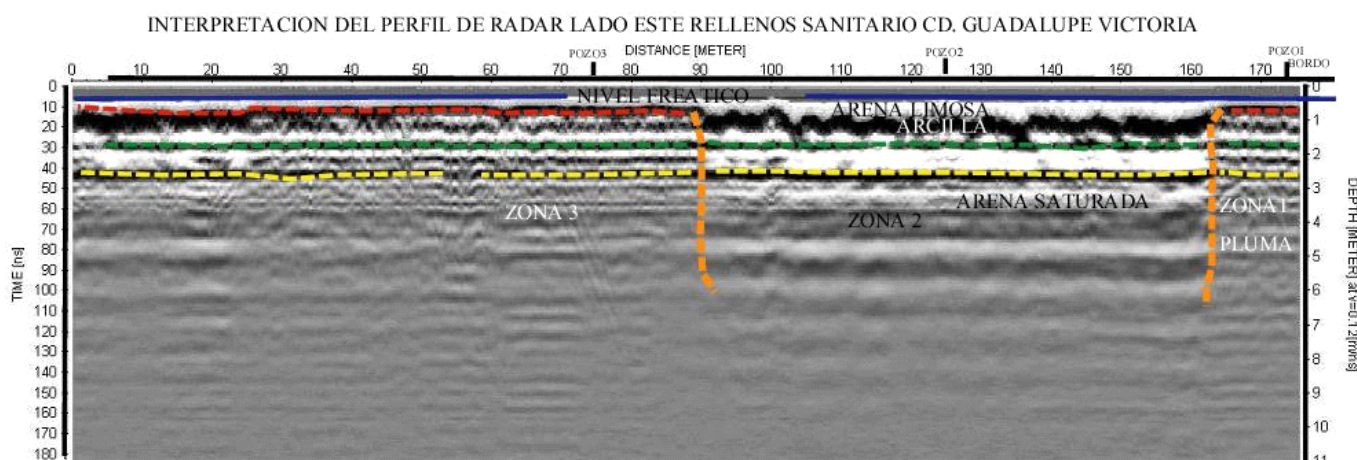


Figura 5. Línea de georadar de 100 MHz al Este del Relleno Sanitario. Cd. Guadalupe Victoria, Baja California

Los resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras agua se presentan en la tabla 1. Con estos resultados se puede apreciar la definición de la pluma contaminante que coincide con la obtenida con los resultados geofísicos. Esto es, los valores de conductividad eléctrica en las muestras de agua de los pozos cercanos al basurero son del orden de 14.5 mS/cm y en los pozos domésticos de 4 mS/cm, lo que muestra el fuerte impacto del relleno sobre el acuífero. También los valores de DQO están fuertemente influenciados por el lixiviado del vertedero. Sin embargo, la DBO no presenta influencia del basurero, lo que físicamente no se explica, salvo por algún error analítico. Los análisis de salinidad se presentan en la tabla 2 y muestran obviamente la misma

tendencia que las mediciones de conductividad eléctrica. El agua influenciada por el lixiviado del basurero (pozos P1, P2 y P3) presenta un signo químico clorurada sódica cambiando a un agua sulfatada sódica en el pozo para uso domestico (pozo P4). Este hecho es indudablemente relación directa de la influencia del basurero produciéndose reacciones químicas (posiblemente procesos Redox) que ocasionan estos cambios en el quimismo de las aguas en el área de estudio. Sin embargo, hasta el momento no se ha dilucidado sobre el tipo de reacciones que se están sucediendo al interaccionar el lixiviado producto del basurero y el agua del acuífero superior.

Tabla 1. Parámetros físico-químicos en los pozos domésticos y de control.

May 26, 2004					
Well	Cond (mS/cm)	TDS (ppm)	pH	DBO ₅ mg/l	DQO mg/l
P1	17.2	8.6	7.2	5.7	188.2
P2	15.4	7.7	6.9	5.1	168.6
P3	14.6	7.3	7.0	4.3	160.7
P4	3.3	1.7	7.1	4.7	23.5
P5	4.9	2.5	6.8	6.5	39.2
May 12, 2004					
P1	17.3	8.7	7.5		
P2	15.2	7.7	6.9		
P3	14.8	7.4	7.0		
P4	3.5	1.8	7.1		
May 4, 2004					
P1	14.85	7.37	7.5		
P2	14.8	7.5	6.9		
P3	14.47	7.22	7.01		

Los pozos cercanos al relleno sanitario presentan valores de conductividad eléctrica de 17 mS/cm y los domésticos alrededor de 4 mS/cm

Tabla 2. Análisis de salinidad de un muestreo

Muestra	----->	P1	P2	P3	P4
C.E.	ms/cm	22,100	18,400	16,800	3,700
pH	-	7.2	7	7.1	7.2
Ca	meq/l	21.4	15	9.8	6.6
	mg/l	428	292	196	132
Mg	meq/l	41.6	30	25.2	10.6
	mg/l	499	365	302	127
Na	meq/l	162.5	153	145.5	25.5
	mg/l	3737	3,507	3346	586
HCO₃	meq/l	15.4	16	16.4	12
	mg/l	939	976	1000	732
Cl	meq/l	135	101	97	10
	mg/l	4792	3,585	3443	355
SO₄	meq/l	75	80	67	20.8
	mg/l	3600	3,840	3216	998
%Na	-	72.5	77	80.6	59.7
RAS	-	28.9	32	34.8	8.7

Realizado 12 de mayo del 2004

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de suelo determinaron que, en los alrededores del vertedero, la textura dominante es franco arenosa, acorde con los suelos aluviales y sedimentos del delta del Río Colorado. Se atribuye que el movimiento del lixiviado es acelerado por la aplicación periódica de agua para sofocar incendios en el basurero, más que por agua de lluvia, dada la escasa precipitación en la región (menos de 60 mm anuales).

Los niveles piezométricos muestran que el flujo subterráneo presenta dirección hacia el norte. Los valores de conductividad eléctrica en las muestras de agua de los pozos cercanos al basurero son del orden de 14.5 mS/cm y en los pozos domésticos de 4 mS/cm, lo que muestra el fuerte impacto del relleno sobre el acuífero.

El perfil de georadar del lado Este presenta dos áreas bien definidas. Una de ellas, que se extiende desde el borde del relleno hasta aproximadamente 10 metros, se relaciona a la alteración directa provocada por la pluma de contaminación del basurero. La segunda zona, que se extiende hasta 80 m, se relaciona al desplazamiento máximo de esta pluma de contaminación. La profundidad a la que se define esta pluma es de aproximadamente 3.5 m. El perfil norte de georadar muestra una discontinuidad probablemente debida a una falla geológica que no permite definir la extensión de la pluma, pero que requiere ser corroborada con una perforación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue patrocinado con Recursos de la 8ª Convocatoria Interna para Proyectos de Investigación de la Universidad Autónoma de Baja California.

REFERENCIAS

- Apgar, M.A. and Satherthwaite, Jr., W.B., 1975. Groundwater contamination associated from the Llangollen landfill, New Castle Co., Delaware. In: Proc. Res. Symp., Gas and Leachate from Landfills, New Brunswick, N.J. U.S. Environ. Prot. Agency, Natl. Environ. Res. Cent., Cincinnati, Ohio.
- Custodio, E. y Llamas, M.R., 1983. Hidrología Subterránea. 2ª edición. Ed. Omega. Barcelona
- Freeze, R.A. and Cherry J.A., 1979. Groundwater. Ed. Prentice-Hall International. 604 p. London.
- Griffin, R.A., N.F. Shimp, J.D. Steele, R.R. Ruch, W.A. White, and G.M. Hughes, 1976. Attenuation of Pollutants in Municipal Landfill Leachate by Passage Through Clay. Environmental Science & Technology 10, 1262-1268.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2007. Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica del Estado de Baja California. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx/>.
- Kimmel G.E. and O.C. Braids, 1975. Leachate plumes in a highly permeable aquifer. Ground Water 12, 388-392.
- Lázaro-Mancilla, O. and Gómez Treviño, E., 1996. Synthetic radargrams from electrical conductivity and magnetic permeability variations. Journal of Applied Geophysics. 34: 283-290.
- Lázaro-Mancilla, O. and Gómez Treviño, E., 2000. Ground Penetrating Radar Inversion in 1-D: An approach for the estimation of electrical conductivity, dielectric permittivity and magnetic permeability. Journal of Applied Geophysics 43 (Issue 2-4): 199-213.
- MacFarlane, D. S., Cherry, J.A., Gillham, R.W. and Sudicky, E.A., 1983. Migration of contaminants in groundwater at a landfill: a case study, 1. Groundwater flow and plume delineation. In: J.A. Cherry (Guest-Editor), Migration of contaminants in groundwater at a landfill: A Case Study. J. Hydro., 63:1-29, Special Issue.
- Palmquist, R. and L.V.A. Sendlein, 1975. The configuration of contamination enclaves from refuse disposal sites on floodplains. Ground Water, 13: 167-181.
- Ramírez, 2003, Comunicación personal.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos), 1972. Resumen del Estudio Geohidrológico del Valle de Mexicali, B.C. y Mesa Arenosa de San Luis, Son. Dirección General de Estudios y Dirección de Aguas Subterráneas. México D.F. 10 de Febrero de 1972.
- Soleno, B.L. 1972. Notas del estudio General sobre el aprovechamiento de las aguas del Río Colorado, en el Valle de Mexicali, Baja California y San Luis R.C., Sonora. Tesis Profesional. Escuela Superior de Agricultura 'Hermanos Escobar. Incorporada a la Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Villanueva M. e Iglesias A, 1984. Pozos y Acuíferos. Técnicas de Evaluación mediante Ensayos de Bombeo. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 426 pp.

Fraccionamiento químico de metales pesados en suelo acondicionado con lodos residuales hace dos, tres, cinco y siete años

Jorge Lugo *, Rocio Vaca, Pedro Del Aguila, Miriam Ronquillo, Laura Santana, Hortencia Sánchez ^a

^a Laboratorio de Edafología y Ambiente, Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario 100. Toluca 50, 000 México

email: jlugo@uaemex.mx; rvp@uaemex.mx; daguila@uaemex.mx

Resumen

La aplicación de enmiendas orgánicas al suelo se ha incrementado por ser una fuente de materia orgánica al suelo y de nutrimentos para las plantas, sin embargo los lodos residuales pueden contener grandes cantidades de metales pesados. Estos, cuando son adicionados a suelos agrícolas pueden acumularse en la superficie del suelo y afectar su fertilidad. El objetivo de este estudio fue llevar cabo un fraccionamiento químico para determinar la disponibilidad de Cu, Pb, Zn, Cd y Ni en suelos agrícolas adicionados con lodos a 0, 2, 3, 5 y 7 años para evaluar riesgos de toxicidad. Las muestras se tomaron del horizonte Ap de un suelo agrícola al cual se le habían adicionado lodos residuales hace 2, 3, 5 y 7 años. El pH varió entre 5.5 y 6.6, la cantidad de materia orgánica de 5 a 20%. Los suelos presentaron más cantidad de arena. La concentración total de metales pesados se encontraron por debajo de los límites permisibles. Para Cu y Ni las concentraciones más altas se encontraron a 5 años, mientras que para Cd y Zn a 2 años. Se determinó que la fracción 4 (ligada a óxidos de Fe y Mn) fue la que presentó mayor concentración de metales en todos los sitios, sugiriendo baja disponibilidad metálica.

Abstract

The application of organic amendments to soil is increasing as a means of improving soil organic matter and plant nutrients however, sewage sludge can contain larger concentration of heavy metals than most soils. The metals have been added to agricultural land and accumulate in the topsoil, they could have long term negative effects on soil fertility. The objective of this study was to perform a chemical fractionation to determine the availability of Cu, Pb, Zn, Cd, and Ni in agricultural soil amended with sewage sludge at 0, 2, 3, 5, and 7 years of application, in order to evaluate toxicity risks. The samples were taken from the Ap horizon soil. The total area was divided in five sites according to the different years of the sewage sludge. The pH of samples varied from 5.4 to 6.6. The concentration of organic matter varied from 5.0 to 20.0 %. The soils contained more amount of sand. All sites studied were below the permitted limit for all metals reported for agricultural soils. For total metals, the highest concentration Cu and Ni was founded in five years sample, while Cd and Zn at two years. The metals of all sites were mostly concentrated in the fraction 4 (bound to Mn and Fe oxides) suggesting low bioavailability.

Palabras Clave – Biosólidos, especiación, disponibilidad, toxicidad.

I. INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son bastante comunes tanto en la industria como en el uso doméstico, por lo tanto las aguas residuales contienen metales pesados que son dispersados en el ambiente a través de su manejo y disposición (Tongtavee et al., 2005). El incremento de la industria da por resultado una acumulación de los metales en la atmósfera y en los ambientes acuáticos y terrestres. Los metales potencialmente contaminantes son desechados de zonas mineras, procesos de manufactura y químicos, pigmentos, y combustión de combustibles fósiles, incluyendo los automotores (Väisänen y Kiljunen, 2005). Los suelos agrícolas no están exentos de los metales que, principalmente se originan de actividades mineras, industriales o bien de la aplicación de lodos residuales (Tokalioglu et al., 2006). Elementos como arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio y zinc juegan un papel importante en la contaminación del suelo, es bien conocido que algunos de estos elementos son potencialmente tóxicos al ambiente, incluso a bajas concentraciones (Väisänen y Kiljunen, 2005). A altas concentraciones los metales pueden interferir en los procesos metabólicos de las plantas, inhibir su crecimiento y en ocasiones llega hasta a causarles la muerte. Por otro lado, el exceso de metales en la nutrición humana puede ser tóxica y causar enfermedades crónicas (Tokalioglu et al., 2006). En estas circunstancias el riesgo a la salud humana por la contaminación de suelos debido a metales pesados está basada en la concentración total de los metales en

el suelo. Desafortunadamente, el riesgo potencial de la contaminación de suelos no depende de la concentración total de un solo elemento sino de su reactividad en sus diferentes especies químicas. La identificación de las especies químicas y su cuantificación deben de ser usados para medir la biodisponibilidad, toxicidad y el impacto al ambiente por los metales pesados (Chaney y Ryan, 1994). Los metales pesados pueden estar en varias formas; en la solución del suelo (iones, complejos orgánicos, e inorgánicos) o en los sitios de intercambio, también, ligados a los sitios de sorción, ocluidos en los óxidos o en las estructuras laminares de los minerales primarios o secundarios del suelo. Es bien conocido que las diferentes fracciones del suelo varían considerablemente según la reactividad química y la biodisponibilidad del metal (Tokalioglu et al., 2006). La evaluación de metales pesados en suelos contaminados es generalmente llevada a cabo con extracciones simples o con fraccionamiento secuenciado (Campanella et al, 1995; Mossop et al 2003; Quevauviller, 1998; Sahuquillo et al 2003) . La extracción simple se usa para conocer sobre la contaminación de suelos superficiales y la disponibilidad de elementos traza para plantas y animales. Esta extracción puede ser dividida en tres categorías; la extracción con agua desionizada o ácidos diluidos, solución de sales neutralizadas o con agentes complejantes, en estos procedimientos se determina el contenido del elemento total. Los procedimientos de extracción secuencial son ampliamente usados para brindar informa-

ción sobre el riesgo de los elementos traza. Los métodos están basados en la partición y especiación de los elementos para determinar su forma química tóxica. En años recientes, varios procedimientos se han desarrollado por muchos autores, siendo el procedimiento de Tessier el más utilizado, éste incluye cinco pasos, y divide a las fracciones en 1) intercambiabile 2) carbonatos 3) reducible 4) oxidable y 5) residual (Väisänen y Kiljunen, 2005). Con esto, el objetivo de este estudio fue llevar cabo un fraccionamiento químico para determinar la disponibilidad de Cu, Zn, Cd y Ni en suelos agrícolas adicionados con lodos a 0, 2, 3, 5 y 7 años para evaluar riesgos de toxicidad.

II MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Muestreo

El muestreo de suelos se realizó en los terrenos de la Planta tratadora de agua Toluca Norte. Se tomaron 15 muestras de suelo en los primeros 20 cm de la capa arable, tres para cada parcela donde se agregó lodo hace dos (2003), tres (2002), cinco (2000) y siete años (1998), además se tomó muestra de una parcela sin lodo residual (testigo), cuya clasificación según la FAO (1990), corresponde a un Feozem Háptico.

2.2 Análisis de laboratorio

Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente (22-25°C), homogenizadas y molidas en mortero de ágata y tamizadas a 2 mm para análisis de rutina y la extracción secuencial. Todas las pruebas se realizaron a peso constante. Se determinó pH en agua en una relación sue-

lo/solución 1:2.5 (McLean, 1982), porcentaje de materia orgánica por el método de Walkley y Black modificado (1947), y Capacidad de intercambio catiónico por el método de acetato de amonio para suelos ácidos (Jackson, 1982). La determinación de Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn totales se hizo mediante una digestión con HNO_3/HCl 4:1. La técnica de fraccionamiento propuesta se basó en el esquema de Tessier et al. (1979). Esta consistió en pesar 2 g de muestra que se colocó en un vaso de polipropileno de base cónica. En cada una de las etapas se agitó a 150 rpm para después centrifugarla durante 30 minutos a 3,500 rpm extrayendo el sobrenadante con pipeta para evitar pérdidas de material. Los extractantes utilizados fueron: F1-Hidrosoluble: 16 ml H_2O bidestilada, 25°C (1 hr.); F2-Intercambiabile: 16 ml MgCl_2 , 1M pH 7.0, 25°C (1 hr.); F3-Ligada a Carbonatos: 16 ml NaOAc 1M pH 5.0/HOAc, 25°C (5 hr.); F4-Ligada a Óxidos de Fe y Mn: 40 ml $\text{NH}_4\text{OH}\cdot\text{HCl}$ 1M en HOAc 25% pH 2.0, 85°C (5 hr.); F5-Orgánica y Sulfuros: 6 ml HNO_3 0.02 M + 16 ml H_2O_2 30% pH 2.0 + 10 ml NH_4OAc 1M en HNO_3 6%, 85°C (5hr.); F6-Residual: 8 ml HNO_3 + 2 ml HCl ; casi a ebullición (45 min.). Las determinaciones tanto para metales totales como para el fraccionamiento se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica Perkin Elmer 3100.

2.3 Análisis estadístico.

Los análisis estadísticos que se llevaron a cabo fueron medias, Anovas y pruebas de Tukey todos con un nivel de

confianza de 95% en un paquete stata-graphics plus 5.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de pH, MO y CIC se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de pH, MO y CIC de las muestras de suelos adicionadas con lodos residuales

Muestra	pH	MO	CIC
		%	cmolk ⁻¹
Testigo	5.8	4.9	23
2 años	5.6	20.7	32
3años	6.2	15.7	32
5 años	5.8	14.8	35
7años	5.2	18.6	45

Los datos señalan que el pH no presenta diferencias entre el testigo y 2 y 5 años, mientras que para 3 y 7 hay una ligera tendencia a disminuir, los datos nos señalan una tendencia ligeramente ácida.

Los pH del suelo juegan un papel muy importante en la sorción de los metales pesados ya que directamente controla la solubilidad de los hidróxidos como también de los carbonatos y fosfatos, igualmente afectan la hidrólisis del metal, la solubilidad de la materia orgánica así como las superficies de carga de los óxidos de hierro y manganeso, materia orgánica y arcillas (Apple y Ma, 2002; Schmidt, 2003). La MO presenta un comportamiento heterogéneo, sin embargo 3 años es el que tiene el valor más bajo, los valores presentados incluido el testigo nos señala una muy alta concentración de MO en los suelos. La CIC aumentan conforme va aumentando la edad de los lodos con respecto al testigo, los valores que presentan los suelos son medios.

Con respecto a los metales totales encontrados estos se muestran en la tabla 2 y 3.

Tabla 2. Concentración de metales pesados totales

Muestra	Cd	Cu	Ni
	ppm		
Testigo	1.0	21.2	137.9
2 años	5.7	194.7	282.9
3años	1.9	68.9	259.2
5 años	2.6	195.0	349.1
7años	3.0	263.5	355.7

Los resultados señalan que para el Cd únicamente el lodo adicionado hace 2 años tiene los más altos niveles de concentración, 3 años presenta el valor más bajo. Mientras que, Cu, Ni y Zn presentan a 3 años, los valores más bajos que los otros años de agregación, teniendo la tendencia de incrementarse como avanza el tiempo de agregación. Solamente el Pb presentó valores muy elevados en todas las muestras.

Tabla 3. Concentración de metales pesados totales

Muestra	Pb	Zn
	ppm	
Testigo	150.4	194.7
2 años	925.1	787.1
3años	597.3	250.1
5 años	916.2	747.9
7años	1091.2	918.2

Atendiendo a los límites propuestos por la EPA para la aplicación de biosólidos al suelo, cuatro de los cinco elementos estudiados rebasaron el límite permisible, así tenemos que los límites son; Cd 39 mg kg⁻¹, Cu 1500 mg kg⁻¹, Pb, 300 mg kg⁻¹, Ni 420 mg kg⁻¹ y Zn 2800 mg kg⁻¹; por

lo que el Pb total si presenta riesgo de toxicidad en los suelos adicionados con lodos en todos los años (Pierzynski *et al.*, 2005).

Tomando en consideración uno de los índices de toxicidad más usados, la relación Zn/Cd (Diamant, 1979) índice que ha venido ajustándose conforme se conoce más el antagonismo entre el Zn con respecto al Cd se sabe que si esta relación no tiene un valor superior a 1000 (Andreu y Boluda, 1995) entonces se considera sitios potencialmente tóxicos. Por lo tanto los valores encontrados para la relación Zn/Cd en cada una de las muestras tomados fueron; 195 para testigo, 138 para 2 años, 131 para 3 años, 287 para 5 años y 306 para 7 años; con esto, los valores nos señalan que a mayor tiempo de estancia de los lodos, el Zn juega un papel mas antagónico con el Cd.

Con respecto a los metales disponibles encontrados estos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Concentración de metales pesados disponibles (d)

Muestra	Cd ^d	Cu ^d	Ni ^d	Zn ^d
	ppm			
Testigo	0.4	1.6	1.9	9.7
2 años	1.7	49.7	5.3	167.9
3 años	0.8	19.0	4.0	83.4
5 años	0.7	60.5	3.7	173.0
7 años	1.1	42.4	4.8	99.8

Se observa que para los metales disponibles el Cd no presentó valores elevados,

con excepción de la muestra a 2 años. El Ni fue bastante homogéneo en todas las muestras, mostrando valores bajos. Mientras que Cu y Zn presentaron valores que van de medios a altos con excepción de 3 años. Pb no presentó disponibilidad bajo este método de extracción. El porcentaje de disponibilidad de los metales se muestra en la tabla 6.

Tabla 5. Porcentaje de disponibilidad de los metales pesados determinados

Muestra	Cd	Cu	Ni	Zn
	% de disponibilidad			
Testigo	40	8	1	5
2 años	30	26	2	21
3 años	42	28	2	33
5 años	27	31	1	23
7 años	36	16	1	11

Los datos que muestra la tabla nos señala que el Ni presenta un bajo porcentaje de disponibilidad, mientras que el Cd, Cu y el Zn esta entre 30 y 40%. Cabe mencionar que los suelos testigos, con excepción del Cd presentan baja disponibilidad.

Con esto, se realizó el fraccionamiento químico el cual nos señala los resultados encontrados en la tabla 6.

El porcentaje de recobro de los metales siguiendo la metodología sugerida por Tessier, nos señala que, el Cd tuvo cerca del 80%, mientras que para el Cu en las muestras de 2 y 5 años rebasó ligeramente el 100%. Para el Zn el porcentaje de recobro fue muy heterogéneo, sin embargo las muestras de 2 y 5 años rebasaron el 100%. Ni y Pb tuvieron un porcentaje de recobro bastante bajo.

Tabla 6. Contenido de metales en suelos adicionados con lodo residual en las fracciones F1 hidrosoluble, F2 Intercambiable F3 asociada a carbonatos F4 ligada a óxidos de Fe y Mn F5 oxidable (MO y sulfuros) y F6 Residual

	Cd mg Kg⁻¹					
	LD/ LC	2 años	3 años	5 años	7 años	Testigo
F1	0.01/0.03	ND	ND	ND	ND	ND
F2	/0.04	1.1 ^b	0.2 ^a	.3 ^a	0.3 ^a	ND
F3	0.04/0.2	ND	ND	ND	ND	ND
F4	0.2/0.05	3.1 ^b	0.8 ^a	1.7 ^a	2.1 ^{ab}	NC
F5	0.01/0.04	NC	ND	NC	ND	ND
F6	0.03/0.08	ND	ND	ND	ND	ND
	Cu mg Kg⁻¹					
F1	0.01/0.03	1.6 ^{ab}	0.4 ^a	2.4 ^b	2.8 ^b	1.2 ^b
F2	0.00/0.01	2.2 ^b	0.2 ^a	1.5 ^{ab}	2.5 ^b	ND
F3	0.08/0.23	NC	ND	2.2	3.3	ND
F4	0.00/0.01	144.7 ^b	42 ^a	155 ^b	135.3 ^b	7.5 ^a
F5	1.01/0.04	43.5 ^{bc}	7.8 ^{ab}	59.9 ^c	50.5 ^{bc}	1.4 ^a
F6	/0.01	13.6 ^c	5.5 ^{ab}	13.9 ^c	11.6 ^c	1.5 ^a
	Zn mg Kg⁻¹					
F1	0.03/0.16	3.8 ^{ab}	2.2 ^a	5.5 ^{ab}	9.4 ^b	2.7 ^a
F2	0.09/0.33	11.6	7	21.1	39	NC
F3	0.15/0.45	NC	NC	44	43.7	ND
F4	0.04/0.11	742.3 ^c	168.4 ^b	672.6 ^c	26 ^a	30.6 ^{ab}
F5	0.02/0.09	81.5 ^{abc}	20.4 ^{ab}	150.3 ^c	108 ^{bc}	12.4 ^a
F6	/0.06	4	3	4.8	3.5	2.7
	Ni mg Kg⁻¹					
F1	0.03/0.15	NC	NC	NC	NC	ND
F2	0.19/0.73	ND	ND	ND	ND	ND
F3	0.12/0.36	ND	ND	ND	ND	ND
F4	0.06/0.15	16.8 ^b c	11.7 ^{ab}	19.1 ^c	12.8 ^b	6.8 ^a
F5	0.19/0.4	6.7 ^a	4.1 ^a	7.7 ^a	5.7 ^a	4.2 ^a
F6	0.07/0.2	2.3 ^{ab}	1.4 ^a	3.3 ^c	2.9 ^{bc}	1.03 ^a
	Pb mg Kg⁻¹					
F1	0.13/0.55	ND	ND	ND	ND	ND
F2	0.1/0.47	ND	ND	ND	ND	ND
F3	0.23/1.02	ND	ND	ND	ND	ND
F4	0.21/0.54	81.3 ^{bc}	54.6 ^{ab}	99.4 ^c	83.6 ^{bc}	13.3 ^a
F5	0.03/0.38	6.8	NC	10.5	11	ND
F6	0.04/0.49	NC	NC	4.4	NC	ND

LD Limite de detección

LC Limite de cuantificación

ND No detectado

NC No cuantificado

En las gráficas (1 a 5) se detallan las fracciones de los metales siguiendo la técnica de Tessier.

El Cd (Figura 1) presenta una preferencia tanto por la F2 como por la F4, siendo esta fracción la mejor representada. La F2 es una fracción disponible para las plantas y por lo tanto fácilmente

te intercambiable, lo cual puede generar toxicidad para estas; este metal es completamente móvil y por lo tanto va disminuyendo con el paso del tiempo hacia fracciones menos disponibles como es el caso de la F4, se observa que conforme avanza el tiempo hay un mayor porcentaje de esta fracción. (Mc Bride, 1994, Yuan et al, 1994).

Cd

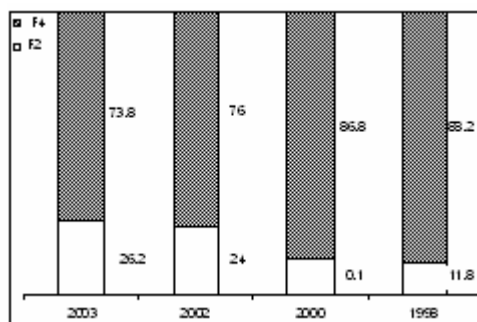


Figura 1. Porcentaje de Cd encontrado en las diferentes fracciones

Con respecto al cobre (Figura 2) todas las fracciones se ven representadas, pero la F4 y F5 son las que tienen los más altos porcentajes. El hecho de que el Cu se asocie a estas fracciones indica su baja disponibilidad por lo que no es tóxico para las plantas. La gran área de superficie y la gran capacidad de absorción de los óxidos de Fe y Mn están acopladas a la facilidad de reemplazar al Cu por el Fe^{+2} por lo que se explica la absorción en este metal en la F4 (32serife). Por otro lado, es bien sabido que la F5 tiene preferencia por ligar Cu (Baruah et al, 1996). De manera general los niveles de Cu en las primeras fracciones (F1, F2 y F3) son bajos y algunas explicaciones son; formación de complejos estables entre el Cu y la MO,

la sorción de óxidos en el suelo y la formación de precipitados de Cu (Silveira y Sommers, 1977)

Cu

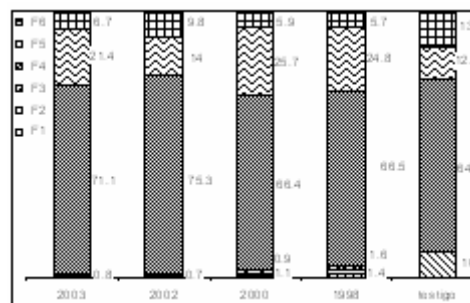


Figura 2. Porcentaje de Cu encontrado en las diferentes fracciones

El zinc (Figura 3) presentó una mayor preferencia por la F4 y F5 al igual que el Cu, sin embargo la F3 no se vio representada; las otras tres fracciones (F1, F2 y F6) tuvieron una baja concentración del metal. La F4 es muy importante en la química del Zn ya que absorbe cantidades considerables de este metal, ya que lo precipitan o es fuertemente absorbido (Shuman, 1979). Asimismo, los elevados niveles de materia orgánica dan un alto porcentaje de Zn asociado a la F5. La constante de estabilidad del Zn con la MO es baja, pero grandes cantidades de Zn se ligan a las sustancias orgánicas, reduciendo su solubilidad.

Con esto se observa que el Zn no se encuentra de manera disponible, de hecho los óxidos de Fe y Mn y la MO tienen un efecto de remoción para el Zn en solución y provoca su adsorción.

Zn

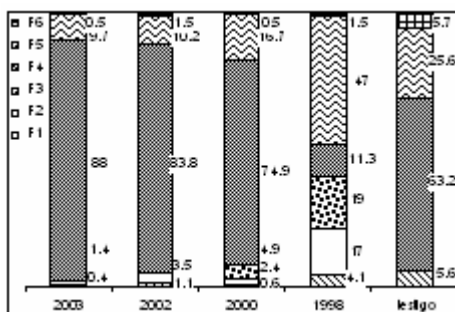


Figura 3. Porcentaje de Zn encontrado en las diferentes fracciones

Para el níquel y Plomo (Figuras 4 y 5) al parecer la técnica no fue eficiente para extraer estos metales. No se presentó metal en ninguna de las tres primeras fracciones, recayendo en la F4 y F5 la mayor cantidad de metales encontrados. Por lo tanto, presentan una baja movilidad en los suelos estudiados como ha sido reportado (Zemberyova, 1998).

Ni

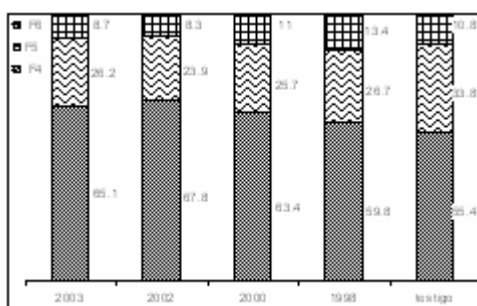


Figura 4. Porcentaje de Ni encontrado en las diferentes fracciones

La adsorción de Pb por los óxidos de Fe y Mn está considerada como un mecanismo de fijación universal (Banerjee, 2003). El Pb se liga a la F5 debido a su alta constante de estabilidad con los ácidos húmicos para formar complejos estables, así como la tendencia que

presenta el Pb para precipitar con los ácidos fúlvicos a bajas concentraciones (Hlavay y Polyák, 1998).

Pb

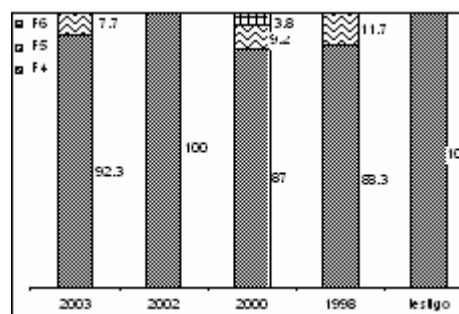


Figura 5. Porcentaje de Pb encontrado en las diferentes fracciones

Con toda la información generada se realizó un ANOVA con las pruebas realizadas, así como en el contenido de metales pesados, para conocer si había diferencias significativas en los diferentes años en los cuales se adicionaron lodos residuales con respecto al testigo. Los resultados para MO, pH y CIC se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Análisis de varianza de los parámetros generales medidos en el suelo

Muestra	MO	pH	CIC
Testigo	a	ab	a
2 años	c	a	c
3 años	b	b	b
5 años	b	a	c
7 años	bc	a	d
Probabilidad	.0001	.006	.0001

La MO y la CIC mostraron diferencias significativas entre el testigo y todos los tratamientos, presentando para MO una mayor diferencia con dos años. Mientras

que para CIC fue con siete años. Por otro lado el pH presentó la mayor diferencia en tres años con respecto a todos los demás tratamientos incluyendo el testigo.

Para los metales totales los resultados del ANOVA se muestran en la tabla 8.

Tabla 8 Análisis de varianza de los metales pesados medidos en el suelo

Muestra	Cd T	Cu T	Ni T	Pb T	Zn T
Testigo	a	a	a	a	a
2 años	c	b	bc	b	c
3 años	ab	a	b	ab	ab
5 años	b	b	c	b	c
7 años	ab	b	bc	b	bc
P	.0001	.0001	.0001	.0003	.0001

Todos los metales presentaron diferencias significativas contra el testigo, siendo este el que mostró los promedios más bajos en todos los metales totales. El sitio donde se agregó lodo hace dos años fue el que presentó el valor más alto para Cd y Zn. Mientras que para el Ni fue, en el sitio de cinco años donde se presentaron los mas altos valores. Para Cu y Pb prácticamente todos los sitios presentaron las mismas diferencias con relación al testigo, con excepción de la muestra de hace 3 años. Cabe señalar que esta muestra tuvo un manejo diferente, ya que en el momento de ser adicionados los lodos, fueron inmediatamente incorporados al suelo con maquinaria agrícola, esto hizo, probablemente que tanto la mineralización de la materia orgánica fuera más rápida; asimismo los compuestos húmicos que se originaron por el proceso de humificación de la materia orgánica, es

posible que hallan atrapado a los metales pesados formando quelatos y dejándolos en fracciones poco disponibles (Roos, 1994).

Con respecto al fraccionamiento igualmente se observaron diferencias entre las fracciones obtenidas. Así, tenemos que para el Cd tanto en F2 como F4, la muestra 2 años tuvo diferencias respecto a todos los tratamientos, (tabla 6).

Para Cu todas las fracciones mostraron diferencias significativas, siendo las mas notables las que muestran los datos en 5 años para F4 y F5 son los más elevados. Para el Zn, al igual que el Cu, F4 y F5 son los diferentes siendo 2 años y 5 años los mas destacados, respectivamente. Para Ni no mostró diferencias en F5, mientras que en F4 y F6, 5 años mostró los datos mas elevados. Para Pb, únicamente F4 hace 5 años mostró los datos más altos.

IV. CONCLUSIONES

La materia orgánica del suelo tuvo un incremento significativo con la adición de los lodos residuales.

El Plomo fue el único elemento que superó los niveles propuestos por EPA para suelos adicionados con lodos.

Todos los metales se presentaron preferentemente entre la F4 y la F5 del fraccionamiento realizado.

Los lodos que fueron adicionados hace tres años, fueron los que menos riesgo de contaminación presentaron, debido quizás al manejo dado cuando fueron adicionados.

V. REFERENCIAS

- Andreu, V., and J.R. Boluda, 1995. Application of contamination indexes on different farming soils. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 54:228-236.
- Appel, C. and L. Ma, 2002. Concentration, pH, and Surface Charge Effects on Cadmium and Lead Sorption in Three Tropical Soils. *J. Environ. Qual.* 31 (2): 581 - 589.
- Banerjee, A.D.K., 2003, Heavy metals levels and solid phase speciation in street dust of Delhi, India. *Environ. Pollut.* 123 95-105.
- Baruah, N.K., P. Kotoky, K.G. Bhattacha and G.C. Borah, 1996. Metal speciation in Jhanji river sediments. *Sci. Total Environ.* 193; 1-12.
- Campanella, L., D. D'Orazio, B.M. Petronio and E. Pietrantonio, 1995. Proposal for a metal speciation study in sediments. *Anal Chim. Acta* 309 387-
- Chaney, R.L. and J.A. Ryan, 1994. Risk based Standard for As, Pb and Cd in urban soils p 25 DECHEMA. Frankfurt, Germany.
- Diamant B Z., 1979. Environmental health impact of heavy metals in wastewater sludge applied to cropland. En: *International Conference Heavy Metals in the Environment*. Londres, Reino Unido. pp. 533-536.
- Hlvavay J. and K. Polyak, 1998. achemical speciation of elements in sediments simples collected at Lake Balaton. *Microchemical J.* 58 281.290.
- Mossop, K. F. and M. Davidson, 2003. Comparison of original and modified BCR sequential extraction procedures for the fractionation of copper, iron, lead, manganese and zinc in soils and sediments *J. Anal. Chim. Acta*, 2003, 478: 111-118.
- Mc Bride, M., 1994 *Environmental Chemistry of soils*. Oxford University Press. Oxford.
- Pierzynski, G., S.Thomas and G. Vance, 2005. *Soils and Environmental Quality*. Taylor and Francis Group. USA. 569pp.
- Roos M.S., 1994. Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils. In: Ross M.S. *Toxic metals in soil-plant systems* pp 63-152 Wiley. Chichester.
- Quevauviller, P., 1998. Operationally defined extraction procedures for soils and sediments analysis. *Standarization. Trends Anal. Chem.* 17 289.298
- Sahuquillo, A., A. Rigor and G. Rauret, 2003. Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments., *Monit. Trends in Anal. Chem.* 22, (3) 135-151.
- Schmidt,U., 2003. Enhancing Phytoextraction: The Effect of Chemical Soil Manipulation on Mobility, Plant Accumulation, and Leaching of Heavy Metals *J. Environ. Qual.* 32(6): 1939 - 1954.
- Silveira D.J. and E. Sommers. 1977. Extractability of copper, zinc, cadmium and lead in soils incubated with sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 6 (1) 47-52.
- Shuman, L.M., 1979 Zinc, manganese and copper in soil fractions. *Soil Sci.* 127 (1) 10-17.
- Tessier, A., P.G.C. Campbell and M. Bisson, 1979. Sequential extraction proce-

- ture for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51 (7) 844-851.
- Tokalioglu, S., S.Kartal and A. Gültekin, 2006. Investigation of heavy-metal uptake by vegetables growing in contaminated soils using the modified BCR sequential extraction method. *Inter. J. Environ. Anal. Chem.* 86 (6) 417-430.
- Tongtavee, N, J. Shiowatana and R. G. McLaren, 2004. Fractionation of lead in soils affected by activities using a continuous -flow sequential extraction system. *J. Environ. Chemistry.* 567: 583.
- Vaisanen, A. and A. Kiljunen, 2005. Ultrasound sequential extraction method for the evaluation of Mobility of toxic elements in contaminated soils. *J. Environ. Anal. Chem.* 85: 1037-1049.
- Yuan, C.G., J.B. Shi, B. He, J.F. Liu, L.N. Liang and G.B. Jiang, 2004. Speciation of heavy metals in marine sediments from the East China Sea by ICP-MS with sequential extraction. *Environ. Intl.* 30, 769-783.
- Zemberyova, M., A.Zwaik and I. Farkasovska, 1998. Sequential extraction for the especiation of some heavy metals in soils. *J. of Radioanalytical Nuclear Chem.* 229 (1-2) 67-71.

Estudio a Escalas Laboratorio y Piloto, de la Degradación de RSU de Metepec (México) y de sus Lixiviados

María del Consuelo Hernández Berriel y Denisse Jacqueline González Pérez
Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Edo. México, México.
hberriel_1999@yahoo.com y ricoivan@yahoo.com

Liliana Márquez Benavides y Otoniel Buenrostro Delgado
Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales de la Universidad Michoacana
de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán México.
lili.marquez@gmail.com y buenrostro@gmail.com

Resumen

El Estado de México está ubicado en la zona centro de México, tiene 14 millones de habitantes distribuidos en 125 municipios. El manejo de los residuos sólidos municipales (RSU) representa uno de los problemas más serios para las autoridades locales. El sitio de disposición final “El Socavón”, no cumple con las condiciones ambientales de geomembrana ni sistema de drenado y almacenaje de lixiviados. Consecuentemente se desconoce la cantidad y las características de los lixiviados generados, así como el efecto que el agua de lluvia infiltrada produce en la degradación de la materia orgánica (MO) de los RSU. El objetivo de este trabajo fue monitorear la degradación anaeróbica de los RSU, simulando lluvia mediante la adición de agua. El estudio se realizó en biorreactores a escalas laboratorio (164.8 g) y piloto (5.8 kg). Se dio seguimiento a la variación de la MO y del pH en el lecho de RSU. Se estimó la capacidad de campo mediante los lixiviados producidos, y se les analizó pH, conductividad, metales, DQO y DBO₅. Los resultados obtenidos de la caracterización de los lixiviados de RSU de “El Socavón”, sugieren que la experimentación corresponde a la fase acidogénica de la fermentación anaeróbica de los RSU.

Palabras Clave - Biorreactores; lixiviados; degradación de RSU.

Abstract

The México state, situated in central Mexico, has a 14-million population, dispersed in approximately 125 counties. Solid waste

management represents a serious and ongoing pressure to local authorities. The final disposition site “El Socavón” does not comply with minimum environmental condition as no geomembrane or leachate management infrastructure are available. Consequently, leachate composition or the effect of rain water input on municipal SW degradation are largely unknown. The aim of this work was to monitor the anaerobic degradation of municipal solid waste (MSW), simulating the water addition due to rainfall. The study was carried out using biorreactors in both lab (164.8 g) and pilot scale (5.8 kg). The variation of organic matter and pH was followed in the solid matrix of the MSW. The produced leachates were used to estimate the MSW field capacity, along with pH, COD and BOD. Obtained results produced a characterization of the leachate of MSW in “El Socavón”, and they seemed to suggest that the experimentation corresponded only to the acidic phase of the MSW anaerobic fermentation.

Keywords - Bioreactors; leachate; MSW degradation.

I. INTRODUCCIÓN

México al igual que muchos países del mundo, enfrentan grandes retos en el manejo y disposición de sus residuos sólidos municipales (RSU). Por sus características socioeconómicas el método más adecuado de disposición es el RESA (relleno sanitario). En el 2000 se tuvo una generación promedio de residuos de 0.865 kg/habitante/día, la cual sufrió cambios para el 2005,

alcanzando en promedio 0.9632 kg/habitante/día. Cabe mencionar que de las 97,000 toneladas diarias que se generaron a nivel nacional en el 2005, el 35 % se arrojó en tiraderos clandestinos a cielo abierto (Cortinas, 2001; INEGI, 2001; Gobierno del D.F., 2006; SEDESOL, 2006).

El Estado de México está ubicado en la zona centro de México y con sus 125 municipios es la entidad mas poblada del país (14 millones de habitantes); enfrenta considerables problemas en materia ambiental, siendo el manejo de los RSU uno de los más importantes, ya que aporta el 16.67 % a la generación nacional de éstos. Para el año 2004, el estado contaba con solo 3 RESA conforme a la NOM-083-SEMARNAT-2003, 5 sitios rellenos de tierra controlados y con aproximadamente 50 sitios no controlados.

“El Socavón” se localiza en el municipio de Metepec del Estado de México. Era originalmente una mina de arena; la cual dejó de explotarse y desde hace aproximadamente 25 años se convirtió en un sitio de disposición de RSU. Abarca 5 hectáreas, con las que ha dado servicio a los municipios de Ocoyoacac, San Mateo Atenco, Otzolotepec, Santa Cruz Atizapán, Capulhúac, Toluca, Metepec y Lerma (INE, 2005; JICA, 2001). Actualmente este sitio se encuentra en etapa de saneamiento y es considerado un relleno de tierra controlado (Fundación ICA, 2004; GTZ, 2006; SEGEM, 2001).

El lugar carece de geomembrana y sistema de drenado y almacenaje de lixiviados. Consecuentemente se desconoce la cantidad y las características de los lixiviados generados, así como el efecto que el agua de lluvia infiltrada produce en la degradación de la materia orgánica (MO) de los RSU. Debido a lo anterior no se pueden

estimar los daños que ocasionarían estos lixiviados al llegar a los mantos freáticos.

Si bien en otras partes del mundo existen trabajos sobre la recirculación de lixiviados y la degradación de la fracción orgánica de los RSU (Elli et al, 2005; Jokela et al, 2002; Kylefords, 2002; Márquez-Benavidez (2004); Rodríguez et al, 2004; Shearer, 2001); en México son pocos los estudios que reportan el efecto de la humidificación con agua de lluvia o lixiviados, así como estudios sobre la caracterización de los RSU y sus lixiviados (Buenrostro y col., 2001; Hernández-Berriel y col., 2005; IMASA 1993; Osorio, 2005).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la humidificación a dos diferentes tasas, simulando el efecto de la precipitación pluvial en la capa superior del sitio “El Socavón”.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Preparación de materiales

Los RSU obtenidos de “El Socavón” se redujeron de tamaño (< 5 cm) y se preparó una mezcla de acuerdo a la caracterización realizada en este sitio por Osorio (2005).

La tabla 1 muestra las cantidades con que se cargaron los biorreactores a escalas laboratorio (LABRs) y piloto (PIBRs).

2.2 Montado y operación de biorreactores

En el desarrollo del experimento se utilizaron 6 PIBRs contruidos de PVC cédula 80, con 20 cm. de diámetro y 60 cm de altura (Figura 1). A la par se montaron 25 LABRs contruidos de PVC cédula 40, con 5 cm de diámetro y 18 cm de altura (Figura 2). Cada uno de los BRXS se construyó y probó que fuera hermético. Los RSU preparados se compactaron en cada biorreactor a una densidad de 400 kg/m³, similar a la utilizada en “El Socavón”.

Tabla 1. Caracterización de RSU

COMPONENTES	(% peso)	LABRs (g)	PIBRs (g)
Papel y cartón	13.1	21.5	756.9
Plástico	23.4	38.6	1357.2
Metales	1.9	3.2	111.4
Textiles	1.6	2.6	91.6
Vidrio	4.7	7.7	270.9
Residuos de comida	49.7	81.9	2882.6
Residuos de jardín	0.9	1.5	53.4
Otros	4.8	7.8	276.1
TOTAL	100.0	164.8	5800.0



Figura 1. Biorreactores a escala piloto

El laboratorio donde se montaron todos los biorreactores se mantuvo a una temperatura ambiente de 20 ± 1.5 °C. En la tabla 2 se muestra el número de biorreactores que se montaron de ambas escalas, y que operaron a dos niveles de humidificación mediante la adición de agua potable (70 y 80 % de humedad base húmeda), también se utilizaron blancos, a los que no se les humedeció.



Figura 2. Biorreactores a escala laboratorio

Tabla 2. Diseño experimental

HUMEDAD DE OPERACION (%)	LABRs	PIBRs
80	10	2
70	10	2
Blancos	2	2

2.3 Simulación de lluvia

Con la humedad inicial de los RSU cargados, se estimó la cantidad de agua necesaria para alcanzar las humedades de operación mencionadas.

El seguimiento del contenido de humedad en los RSU dentro de los biorreactores, y la forma en que se humidificaron conforme transcurrió el tiempo de la experimentación, se describe a continuación:

- Cada 21 días se desmontaron 5 de los LABRs; 2 al 70 %, 2 al 80 % y 1 blanco. A los RSU descargados se les determinó el contenido de humedad.
- El nuevo contenido de humedad se utilizó para recalcular la cantidad de agua requerida, y así mantener los

biorreactores de ambas escalas en las humedades de operación establecidas.

- Se realizó un balance hídrico y se humidificó los LABRs y PIBRs el día 23.
- El día 27 se colectaron lixiviados para análisis.

Los pasos anteriores se repitieron 4 veces más para los LABRs y 5 para los PIBRs. Estos últimos operaron de manera continua por un periodo de 126 días.

2.4 Métodos analíticos

En la tabla 3 se listan las normas aplicadas en este trabajo para los análisis de las muestras de RSU y lixiviados obtenidos (SEMARNAT, 2006).

Tabla 3. Normas para caracterizar RSU y lixiviados

RSU	LIXIVIADOS
NMX-AA-015-1985	NMX-AA-003-1980
NMX-AA-052-1985	NMX-AA-093-SCFI-2000
NMX-AA-016-1984	NMX-AA-007-SCFI-2000
1.1.1.1 NMX-AA-018-1984	1.1.1.2 NMX-AA-008-SCFI-2000
NMX-AA-025-1984	NMX-AA-030-SCFI-2001
NMX-AA-021-1984	NMX-AA-028-SCFI-2001
	NMX-AA-051-SCFI-2001

III. RESULTADOS

3.1 Contenido de humedad y balance Hídrico.

Los LABRs fueron descargados en series de 5 periódicamente como se describe en la metodología, y se les determinó su

humedad. Como puede apreciarse en la figura 3, las humedades experimentales de los RSU fueron inferiores a las establecidas de operación (80 y 70 %). Los biorreactores operados como blancos, presentaron una tendencia decreciente en su contenido de humedad, que inicialmente fue de 43.35%, con una pérdida de agua equivalente al 20 % después de 105 días de experimentación.

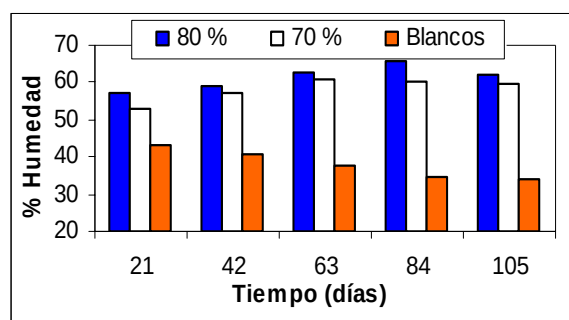


Figura 3. Contenido de humedad en RSU de LABRs

Para el balance hídrico se hizo uso de la siguiente ecuación, considerando igual el agua infiltrada en el lecho de sólidos a la adicionada en la simulación de precipitación pluvial, así como despreciables las cantidades de agua perdidas por evaporación superficial y formación de biogás (Tchobanoglous y col., 1996):

$$\Delta S_{RS} = W_{RS} + W_{A(u)} - W_{F(L)}$$

La tabla 4 presenta como ejemplo, los datos y resultados de las capacidades de campo para la quinta humidificación. Las humedades estimadas el día de drenado de lixiviados (H_L), muestran descensos promedio del 73 y 64 %, con respecto a las humedades de operación del 80 y 70 %.

Tabla 4. Balance hídrico para LABRs y PIBRs en la quinta humidificación

HUMEDAD DE OPERACIÓN (%)	ESCALA	HUMEDAD INICIAL (%)	W_{RS} (ml)	$W_{A(u)}$ (ml)	$W_{F(L)}$ (ml)	S_{RS} (ml)	H_L (%)
80	LABRs	65.8	179.2	194.2	119.3	254.1	73.1
	PIBRs		6307.6	6835.0	4492.5	8650.1	72.5
70	LABRs	60.3	141.6	76.2	56.8	161.0	63.3
	PIBRs		4984.4	2682.0	2161.0	5505.4	62.6

3.2 Residuos sólidos

Los valores en el contenido de cenizas de los RSU para los LABRs (Figura 4) tuvieron un comportamiento ascendente a lo largo del experimento, alcanzando valores de 34.26, 38.56 y 27.05 %, para las humedades de operación del 80 %, 70 % y blancos, respectivamente. Siendo siempre mayores los biorreactores del 70 % que los del 80 %.

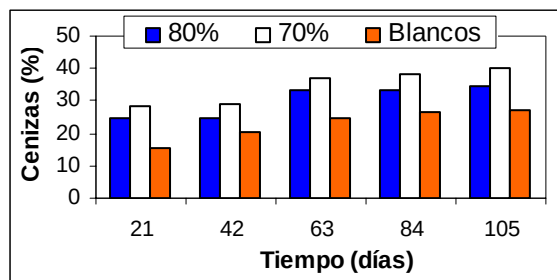
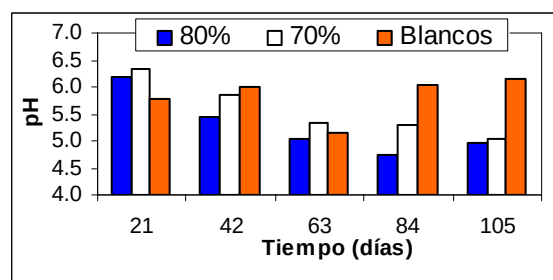


Figura 4. Contenido de cenizas en RSU de LABRs

Los RSU de los LABRs (Figura 5) al 80 % de humedad, presentaron una mayor acidez que los operados al 70 %, estos últimos tuvieron un comportamiento decreciente conforme transcurrió el experimento, pasando del valor inicial de 6.90 a 5.04. Los RSU de los blancos presentaron fluctuaciones en el pH.

En cuanto al contenido de MO (Figura 6), se tuvo una tendencia decreciente conforme transcurrieron los días de la experimentación, alcanzando este

parámetro reducciones del 37.2, 42.9 y 27.4 % en los LABRs operados al 80 %, 70 % y blancos, respectivamente.



1.2 Figura 5. pH en RSU de LABRs

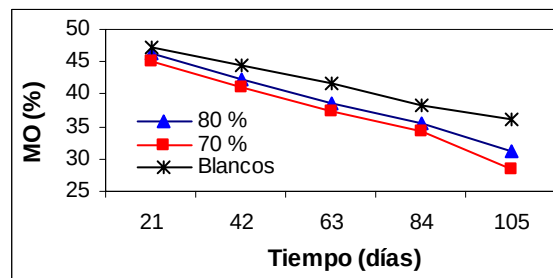


Figura 6. Contenido de MO en RSU de LABRs

La tabla 5 muestra los resultados de los RSU en los PIBRs, descargados el día 126 del experimento. Como puede apreciarse, sus valores fueron similares a los obtenidos en la última descarga de los LABRs (21 días antes), a excepción del pH, que tuvo un valor promedio cerca de la neutralidad (6.6)

para los RSU de los LABRs al 70 %, y mayor que los del 80 % y blancos.

Tabla 5. Valores promedio de RSU en PIBRs

HUMEDAD DE OPERACIÓN	ANÁLISIS			
	Humedad (%)	Cenizas (%)	pH	OM (%)
Muestra inicial	43.4	15.7	6.9	49.76
80 %	60.7	27.4	5.6	30.51
70 %	54.8	38.1	6.6	27.34
Blancos	38.3	26.2	5.9	36.49

Cabe mencionar, que al cargar los PIBRs se cuidó dejar el mismo nivel en todos ellos, observándose al abrirllos, que en los operados al 80 % se redujo en promedio su volumen 11.34 %, 7.50 % en los PIBRs al 70 % y en los blancos solo 2.92 %.

3.3 Lixiviados

A todos los lixiviados muestreados se les realizaron los análisis listados en la tabla 3, presentando valores promedio de 18.24 °C. Como se esperaba, los parámetros determinados en los lixiviados de cada humidificación fueron similares para ambas escalas, por lo que en este trabajo solo se presentan los valores de los lixiviados de las 6 simulaciones de lluvia en los PIBRs. No se obtuvieron lixiviados en los LABRs y PIBRs operados como blancos.

La conductividad (Figura 7) de los lixiviados de los PIBRs operados al 70 % de humedad, presentaron valores mayores que los del 80 %, y aunque su pH fue más ácido (Figura 7), para el día 48 de experimentación sus valores se empalmaron con los del 80 %.

Los PIBRs operados al 70 % de humedad presentaron valores mayores de DQO y DBO₅ que los del 80 % en todas las humidificaciones. Estos parámetros decrecieron sobre 7 veces de sus valores

iniciales en los del 80 % (Figura 8), mientras que los del 70 % descendieron sobre 6 veces (Figura 9). En estas figuras también puede observarse el comportamiento de la biodegradabilidad (DBO₅/DQO), cuyos valores decrecieron de 0.75 a 0.68 para ambas humedades de operación.

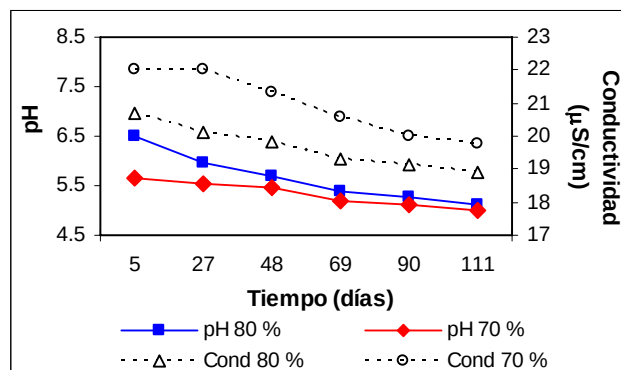


Figura 7. Valores de pH y conductividad en lixiviados de PIBRs

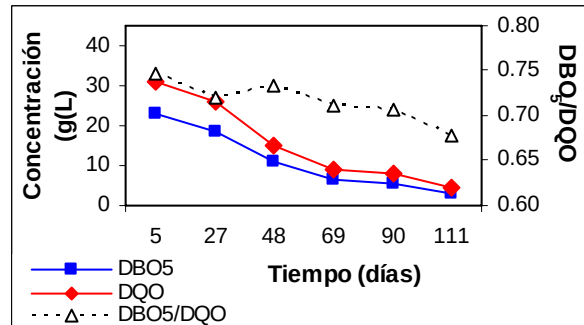


Figura 8. DBO₅ y DQO en lixiviados de PIBRs al 80%

En cuanto a los metales, no se detectaron Cd y Pb en ninguna de la muestras de lixiviados de ambas escalas. Para la mayoría de las humidificaciones, en los PIBRs del 70 % se obtuvieron concentraciones superiores de Mn, Zn, Cu y Cr, que en los del 80 %. Los mayores niveles se detectaron para Mn y Zn (Figura 10), del primero sus valores oscilaron entre 5.8750 y 16.1375, y los valores de Zn variaron entre 0.6750 y

9.7950. Los valores de Cu fluctuaron entre 0.0055 y 0.0510 y los de Cr entre 0.0010 y 0.0518, no detectándose este último a partir de la cuarta humidificación (Figura 11).

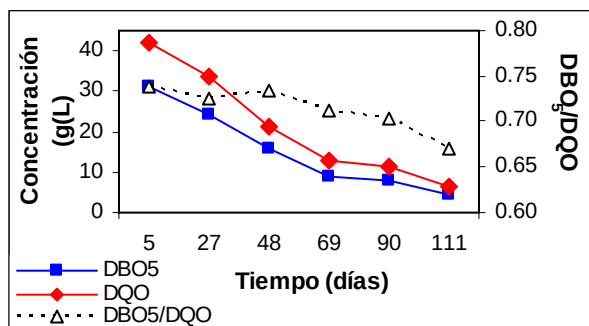


Figura 9. DBO₅ y DQO en lixiviados de PIBRs al 70%

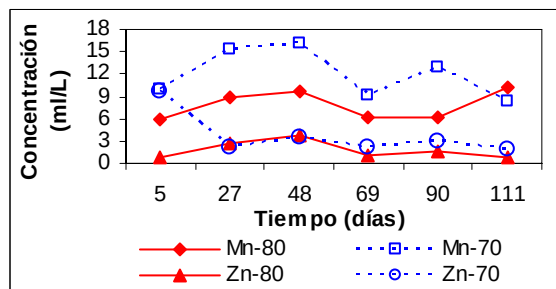


Figura 10. Valores promedio de Mn y Zn en lixiviados de PIBRs

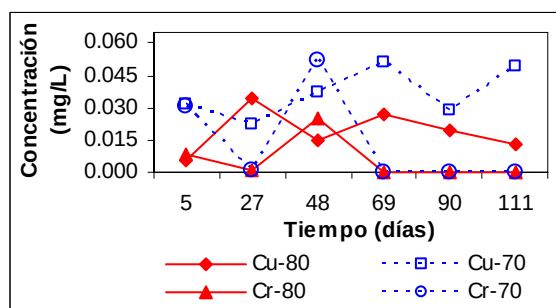


Figura 11. Valores promedio de Cu y Cr en lixiviados de PIBRs

IV. DISCUSIÓN

Los datos obtenidos del contenido de humedad en los RSU de los LABRs descargados cada 21 días, mostraron que la

adición de agua no fue suficiente para mantener las humedades de operación planeadas (80 y 70 %). El descenso de la humedad en los biorreactores blancos, sugiere que hubo degradación microbiana de la MO contenida en sus RSU.

Los resultados del balance hídrico realizado a los 4 días de las humidificaciones, confirmaron que los contenidos de humedades (H_L) en los RSU fueron cercanos a los de operación, y que tienen una clara dependencia con respecto al tiempo, por lo que las humidificaciones en campo deben considerarle como un factor importante en los cambios de las características hidráulicas del lecho y de los lixiviados (Lobo, 2003).

Los resultados corroboran lo que mencionan los trabajos de Shearer (2001) y Wrefor et al. (2000), acerca de que el contenido de humedad es uno de los factores más importantes que afectan la degradación global en los RSU. Los resultados obtenidos del contenido de MO, sugieren que la humidificación al 80 % no fue la mejor.

Por otro lado, el encontrar un mayor descenso en los niveles de los lechos de RSU en los PIBRs que operaron al 80 %, que en los del 70 % y que en los blancos, indica que una mayor cantidad de agua provoca un mayor asentamiento en el lecho de RSU, lo cual también puede afectar el proceso de degradación microbiana.

Los pH ácidos tanto en los RSU como en los lixiviados, indican que ambas escalas alcanzaron la fase anaerobia acidogénica, lo cual se debe principalmente a la producción de ácidos grasos volátiles (VFA), como lo detallan los trabajos de Kylefords (2002) y Márquez-Benavidez (2004). Y el pH de 6.6 en los PIBRs descargados 21 días después que los LABRs, sugiere que se iniciaba en ellos la etapa metanogénica.

La MO estuvo sujeta a una degradación lenta, ya que la relación DBO_5/DQO se redujo a 0.68 en ambos niveles de humidificación. Es sabido que valores de biodegradabilidad alrededor de 0.7, corresponden a lixiviados ricos en compuestos orgánicos (Griffith & Tríos, 2006).

Los descensos pronunciados en las DQO y DBO_5 , son similares a los observados por Elli y colaboradores (2005) al inicio de su experimentación, indicando la remoción de la MO soluble. Además, el que los PIBRs operados al 70 % de humedad presentaran valores mayores de DQO y DBO_5 que los del 80 %, sugiere un efecto de dilución. Por lo que las reducciones de DQO y DBO_5 pudieron deberse a la dilución por la adición de agua; como lo reportan Kjeldsen and Christophersen (1999), ya que la lluvia tiene un efecto de lavado en las capas superiores de los sitios de disposición, y al proceso de degradación anaeróbica; donde los compuestos rápidamente biodegradables son metabolizados en AOV, lo que acidifica el pH pues los AOV corresponden al 60-90 % de la DQO . Sin embargo la metodología empleada no permite discriminar entre ambas fuentes, requiriéndose profundizar en la investigación.

Los valores mayores de conductividad, Mn, Zn, Cu y Cr, obtenidos de los PIBRs operados al 70% en la mayoría de las humidificaciones, también sugieren una dilución en los lixiviados de los del 80%.

De acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1996), los lixiviados generados en esta investigación, no exceden los niveles permitidos de los metales pesados Pb, Zn, Cu y Cr, ni el pH; pero superan de 15 a mas de 400 veces los límites de la DBO_5 para descargas en agua y bienes nacionales. Sin embargo, los trabajos de Hernández-Berriel (2005) Kylefords (2002), Kjeldsen and

Christophersen (1999), muestran que los valores de estos parámetros se elevan a medida que los lixiviados formados en la capa superior de un sitio percolan a través de la matriz de RSU, por lo que es muy probable que los lixiviados de las capas inferiores de “El Socavón” de Metepec excedan los límites permitidos de metales.

V. CONCLUSIONES

- Los contenidos de humedad determinados en los RSU descargados periódicamente y el balance hídrico, mostraron que existe una diferencia importante entre los valores establecidos para la operación (80 y 70 %) y los experimentales, así como que ante una mayor adición de agua se tiene una mayor capacidad de campo y un mayor grado de asentamiento en el lecho.
- Los análisis de los lixiviados, sugieren un efecto de dilución en los biorreactores al 80 %. Revelan además, que solo se alcanzó la fase acidogénica de la degradación anaeróbica en ambos niveles de humidificación, y que a esta fase llegaron más rápidamente los biorreactores operados al 70 %.
- La relación DBO_5/DQO en los lixiviados fue independiente de los niveles de humedad establecidos (80 y 70 %), obteniendo un valor de 0.68 al final de la experimentación, lo que indica que la degradación de la MO de los RSU de “El Socavón” es de moderada a baja para las condiciones descritas en este trabajo.
- Los lixiviados generados por la simulación de lluvia en RSU de “El Socavón”, cumplen con la NOM-001-ECOL-1996 en cuanto a Pb, Cr, Zn, Cu y pH, superando los límites permitidos de DBO_5 para descargas en agua y bienes nacionales.

1.3 AGRADECIMIENTOS

- Los autores agradecen el financiamiento a la Dirección General de Institutos Tecnológicos.
- De una manera muy especial, agradecemos el excelente apoyo técnico y económico de los Institutos Tecnológicos de Toluca y Tepic, así como de las Universidades Veracruzana y Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

NOTACIÓN

ΔS_{RS} = Variación del agua almacenada en los RSU en el sitio o capacidad de campo.

W_{RS} = Agua (humedad) contenida en los RSU.

$W_{A(u)}$ = Agua filtrada en la capa superior del sitio procedente de lluvia o nieve.

$W_{F(L)}$ = Agua que sale inferiormente y que corresponde al lixiviado formado.

REFERENCIAS

- Buenrostro, D.O., G. Bocco, and G. Bernache, 2001. Urban solid waste generation and disposal in Mexico. A case study. *Waste Management & Research*. 19:169-176.
- Cortinas, C., 2001. Hacia un México sin basura, bases e implicaciones de las legislaciones sobre residuos. Talleres Gráficos de la Cámara de Diputados. México.
- DOF (Diario Oficial de la Federación), 1996. NOM-001-ECOL-1996. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación, 24 de junio de 1996. México.
- Fundación ICA, 2004. Normatividad y rellenos sanitarios en México. (Documento Web, Último acceso: Diciembre 12, 2004) <http://www.fundación-ica.org.mx>
- Gobierno del Distrito Federal, 2006. Residuos Sólidos. Distrito Federal, México. (Documento Web, Último acceso: Septiembre 6, 2006) http://www.sma.df.gob.mx/educacion/04_saber/residuos.htm
- Griffith, M., and C. Trois, 2006. Long-term emissions from mechanically biologically treated waste: Influence on leachate quality. *Water SA* Vol. 32 No. 3, 307-313.
- GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), 2006. Apoyo a la Gestión de Residuos Sólidos Municipales en el Estado de México. Cooperación técnica entre Alemania y México. (Documento Web, Último acceso: Diciembre 12, 2004) www.gtz.org.mx/segem
- Elli, 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 U.S.A.
- Hernández-Berriel, M.C., G.I. González-López, y M.A. Alvarado-Valencia, 2005. Estudio de la Evolución de los Residuos Sólidos Urbanos de Metepec en Biorreactores Piloto. Memorias del Primer Congreso Interamericano de Residuos. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). División de Residuos, Sociedad Anónima (DIRSA). Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, A.C. (FEMISCA) Sección Mexicana de la AIDIS. Mérida, Yucatán, México.
- IMASA (Ingeniería del Medio Ambiente, Sociedad Anónima), 1993. Programa de estabilización acelerada de los desechos sólidos orgánicos que se disponen en el relleno sanitario, Bordo Poniente. Documento interno. Ingeniería del Medio Ambiente. México, D. F.
- INE (Instituto Nacional de Ecología), 2005. Estadísticas e Indicadores de Inversión sobre residuos Sólidos Municipales en los principales centros urbanos de México. (Documento Web, Último acceso: Junio 10, 2005) <http://www.ine.gob.mx>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2001. Generación de Residuos Municipales en localidades con más de 100,000 habitantes. (Documento Web, Último acceso: Julio 15, 2001) <http://www.ine.gob.mx/dgmrar/dsrsc/inventarios/regiones.html>
- JICA (Japan International Cooperation Agency), 2001. Propuesta de Cooperación Técnica por el Gobierno de Japón al Municipio de Metepec sobre el Socavón. Documento interno. Estado de México, México.
- Jokela, J.P.Y., R.H. Kettunen, and J.A. Rintala, 2002. Methane and leachate pollutant emission potential from various fractions of municipal solid waste (MSW): Effects of source separation and aerobic treatment. *Waste Management & Research* 20, 424-433. UK.

- Kjeldsen, P. and M. Christophersen, 1999. Composition of Leachate from Old Landfills in Denmark. Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy.
- Kylefords, K., 2002. Predictions of leaching from municipal solid waste (MSW) and measures to improve leachate management at landfills. Doctoral Thesis. Department of Environmental Engineering Division of Waste Science & Technology. Luleå University of Technology SE-971 87 Luleå, Sweden.
- Lobo, G. A., 2003. Desarrollo de MODUELO 2: herramienta para la evaluación de la contaminación producida en vertederos de residuos sólidos urbanos. Tesis Doctoral. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Dpto. de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, España.
- Márquez-Benavidez, L., 2004. Study of the Effect of Soil Inclusion on the Anaerobic Degradation of Municipal Solid Waste. Doctoral Thesis. Department of Bioscience. University of Strathclyde in Glasgow, United Kingdom.
- Osorio-Ugarte, S. G., 2005. Evaluación del Impacto Ambiental en el Socavón de Metepec, Estado de México. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química. Instituto Tecnológico de Toluca., Metepec, Edo. de México, México.
- Rodríguez, J., L. Castrillón, E. Marañón, H. Sastre, and E. Fernández, 2004. Removal of non-biodegradable organic matter from landfill leachates by adsorption. Water Research 38, 3297-3303.
- SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social), 2006. Situación actual en el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en México. (Documento Web, Último acceso: Octubre 13, 2006)
http://www.sedesol.gob.mx/subsecretarias/desarrollourbano/sancho/documentos/Alcances/Residuos_Solidos_Urbanos.pdf
- SEGEM (Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México), 2001. Acciones Inmediatas para una Mejor Operación del Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos del Municipio de Metepec "El Socavón". Documento interno de la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México, México.
- SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2006. Normas mexicanas vigentes. (Documento Web, Último acceso: Diciembre 20, 2006)
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/normasmexicanasvigentes.aspx>
- Shearer, B., 2001. Enhanced Biodegradation in Landfills. Thesis for the degree of Master of Science in Environmental Engineering. The Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University. U.S.A.
- Tchobanoglous, G., H. Theisen, and S. Vigil, 1993. Disposal of Solid Wastes and Residual Mater. In: Integrated Solid Management, Engineering Principles and Management issues. Clark, B.J. and Morris, J.M. (Eds) McGraw-Hill, California, USA. Cap 11, 476-477.
- Wrefor, K.A., J.W. Atwater, and L.M. Lavkulich, 2000. The effects of moisture inputs on landfill gas production and composition and leachate characteristics at the Vancouver Landfill Site at Burns Bog. Waste Management & Research 18, 386-392.

Sección 5:

Reciclaje y Tratamientos de residuos (Procesos mecánicos, biológicos, térmicos y similares)

Efecto del tiempo de retención en un proceso de digestión aeróbica para los lodos de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Durango

Josefina Rodríguez Rosales, Arlette Marín Quiroga, Blanca Estela García Caballero, Sergio Valle Cervantes, Alberto Gallegos Infante, Armando de la Peña Arellano

Instituto Tecnológico de Durango

Durango, Dgo., México

email: mdjrr1958@gmail.com, abrilarlette@hotmail.com, svc@alumni.utexas.net

Resumen

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son una infraestructura necesaria en las ciudades. Sin embargo, existe un subproducto importante el cual requiere su atención, el lodo residual generado del tratamiento biológico de las aguas residuales. Los lodos tratados, tienen la característica de poder ser utilizados como acondicionadores de suelos y su disposición final debe estar sujeta a la legislación, NOM- 004-SEMARNAT-2002. El objetivo principal de este estudio es la destrucción de bacterias indicadoras, Coliformes fecales (CF) y Coliformes Estreptococos (FS), en los lodos de la planta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Durango, usando una digestión aeróbica a nivel laboratorio y a temperaturas ambientales. Las variables de operación en este proceso fueron tiempo de retención y carga orgánica. La metodología usada en este estudio siguió las siguientes etapas: Caracterización de los lodos residuales, diseño de experimentos, construcción de los digestores, desarrollo de experimental y análisis de los resultados. En este estudio se concluyó, que el tiempo de retención es la variable que tiene mayor influencia en la remoción de bacterias indicadoras durante el proceso de digestión aeróbica. Este estudio concluye que a mayor tiempo de retención se obtuvo una mejor calidad del biosólido obtenido.

Palabras Clave -biosólidos, lodo residual, bacterias indicadoras, carga orgánica, tiempo de retención, digestión aeróbica.

Abstract

Wastewater treatment plants are basic infrastructures in cities. However, there is an important byproduct from wastewater treatment plants that requires attention, residual sludge. Treated sludge has the characteristics to be used as soil conditioners and their final disposal must accomplish the legislation under the regulations, NOM - 004-SEMARNAT-2002. The main objective of the present study is the destruction of indicator bacteria, fecal coliforms (FC), and Fecal Streptococcus (FS) in the sludge of the wastewater treatment plant of Durango's city, using an aerobic digestion in a bench scale at ambient temperatures. The operation variables in this process were organic loading and hydraulic detention time. The methodology used through this study followed the next phases: Sludge characterization, experimental design, digesters construction, experimental laboratory, and result analysis. This study concluded that hydraulic detention time is the most important variable in indicator bacterial removal during the aerobic digestion process, at higher retention time greater quality in the final biosolid.

Palabras Clave -biosolids, sludge, indicator bacteria, organic loading, hydraulic retention time, aerobic digestion.

I. INTRODUCCIÓN

A través del tiempo, los procesos de tratamiento de aguas residuales, han originado excesivas cantidades de un subproducto derivado del tratamiento biológico, que es un lodo o biomasa formado por la degradación bioquímica de los compuestos orgánicos y su naturaleza depende principalmente de las características del agua residual de donde proviene.

La mayor parte de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales no incluyen el manejo y disposición de los lodos residuales producidos. Los métodos de disposición utilizados para estos lodos son basureros a cielo abierto, rellenos sanitarios, vertidos al drenaje o a corrientes superficiales. Esto provoca contaminación ambiental debido a los altos contenidos de patógenos, metales pesados y sustancias tóxicas presentes en los mismos.

Estos lodos, por sus características ofrecen beneficios ambientales a través de su reutilización, distribución y aplicación en el suelo. El manejo de los biosólidos y su disposición en el suelo, depende del contenido de patógenos presentes en los lodos, que provienen principalmente de desechos del ser humano, entre ellos se encuentran: bacterias, parásitos y virus que son portadores de enfermedades (Kuchenrither, 1983).

Los biosólidos, son usados como acondicionadores o fertilizantes para enriquecer los suelos en las actividades de la agricultura y selvicultura. En la Norma Oficial Mexicana (NOM), NOM-004-SEMARNAT-2002 y en la Agencia de Protección al Medio Ambiente (EPA) dentro de los Estados Unidos de Norteamérica, especifica a través del CFR 40 en la sección 503 referente a biosólidos, los límites permisibles en concentración de bacterias indicadoras en biosólidos prove-

nientes de plantas de tratamiento de agua residuales (USEPA, 1989).

La ciudad de Durango, con una población aproximada de 490,525 habitantes, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), para tratar las aguas residuales de origen doméstico. Esta planta de tratamiento fue diseñada para un flujo de 2,000 L/s y en la actualidad ésta opera a un promedio de 1,600 L/s. En el presente, la PTAR, enfrenta el problema de generación de lodos residuales como resultados del tratamiento biológico, debido a las altas concentraciones de coliformes fecales presentes en ellos.

En este estudio, se desarrollaron nueve experimentos de un proceso de digestión aeróbica a nivel laboratorio, para la remoción de bacterias indicadoras presentes en los lodos residuales de la PTAR. Los experimentos se corrieron a temperaturas ambientales y las variables de control fueron: tiempo de retención (TR) y carga orgánica (CO). Se obtuvo a través de este estudio, una mayor reducción en bacterias indicadoras a mayor tiempo de retención y mayor carga orgánica.

II MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio, se llevó a cabo el proceso de digestión aeróbica a nivel laboratorio con dos variables de control; tiempo de retención (TR) y carga orgánica (CO), operando a temperaturas ambientales. Se emplearon reactores de vidrio pyrex con un volumen de operación de 5 litros. El contenido de cada digestor fue agitado a través de un mezclador mecánico, con flechas ajustadas al motor y con dos propelas tipo turbina. El aire fue suministrado por medio de un com-

presor y regulado a través de un medidor de flujo. Se diseñó una trampa de aire con fibra de vidrio y un humidificador-condensador para evitar las pérdidas de volumen por evaporación.

La Figura 5, muestra un modelo de uno de los digestores usados en los experimentos. Las técnicas de muestreo y análisis empleadas en este estudio son las aprobadas por las Normas Oficiales Mexicanas y se encuentran referenciadas en (Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 1998).

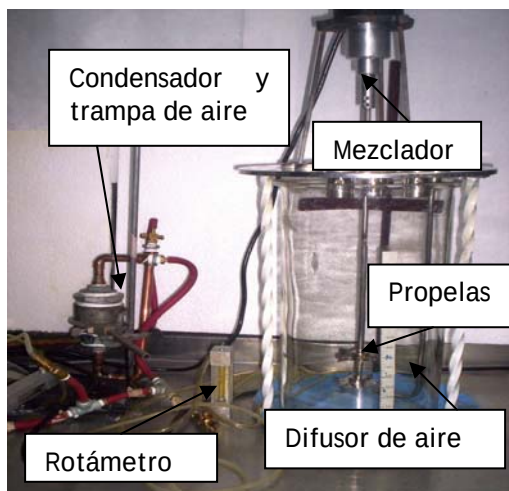


Figura 5. Digestor

La caracterización fisicoquímica y microbiológica del lodo residual se estableció al inicio de cada experimento. Durante la conducción de los experimentos, los análisis fisicoquímicos tales como: pH, temperatura y oxígeno disuelto, se determinaron diariamente.

Las pruebas de alcalinidad, sólidos totales y volátiles se realizaron cada tercer día, el nitrógeno total, orgánico y amoniacal, así como nitratos se realizaron una vez cada semana. Los análisis microbiológicos de coliformes fecales y estreptococos se realizaron una vez por semana.

III. RESULTADOS

En este estudio se estableció un diseño factorial con dos variables independientes; tiempo de retención y carga orgánica, 15, 25 y 35 días y 0.6, 1.2 y 1.8 kg/m³-d, respectivamente. Los resultados para la caracterización del lodo residual se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización del lodo crudo

Parametro	resultado
pH	7.9
T, °C	25
Sólidos Totales, mg/L	78,039
Sólidos Volátiles, mg/L	54,046
Alcalinidad, mg CaCO ₃ /L	400
Nitrógeno, NH ₃ , mg/L	215
Coliformes Fecales, NMP/gr ST	3.9X10 ⁷
Coliformes Estreptococos, NMP/gr ST	1.8X10 ⁸

Los resultados de los experimentos se muestran en las Tablas 2, 3 y 4 para los diferentes tiempos de retención de 15, 25 y 35 días.

Tabla 2. Resultados de los experimentos con tiempo de retención de 15 días

Prueba	Carga orgánica, Kg/m ³ -d		
	0.6	1.2	1.8
pH	6.50	6.50	6.60
% Remoción de SV	11	10	11
Alcalinidad, mg CaCO ₃ /L	16	21	25
N (NH ₃), mg/ L	11.20	3.24	2.24
NO ₃ , mg/L	90	87	86
Reducción Log CF	0.26	0.63	0.69
Reducción Log CS	0.10	0.19	0.37

Tabla 3. Resultados de los experimentos con tiempo de retención de 25 días

Prueba	Carga orgánica, Kg/m ³ -d		
	0.6	1.2	1.8
pH	6.54	6.78	6.80
% Remoción de SV	14	15	15
Alcalinidad, mg CaCO ₃ /L	32	35	43
N (NH ₃), mg/ L	12.32	8.9	2.24
NO ₃ , mg/L	156	115	110
Reducción Log CF	0.40	0.42	0.79
Reducción Log CS	0.38	0.41	0.65

Tabla 4. Resultados de los experimentos con tiempo de retención de 35 días

Prueba	Carga orgánica, Kg/m ³ -d		
	0.6	1.2	1.8
pH	6.50	6.84	6.86
% Remoción de SV	27	34	36
Alcalinidad, mg CaCO ₃ /L	39	42	49
N (NH ₃), mg/L	19.04	12.40	12.06
NO ₃ , mg/L	360	273	256
Reducción Log CF	2.85	2.88	3.02
Reducción Log CS	0.18	0.57	0.65

Las Gráficas 1, 2 y 3 muestran las reducciones logarítmicas de bacterias indicadoras.

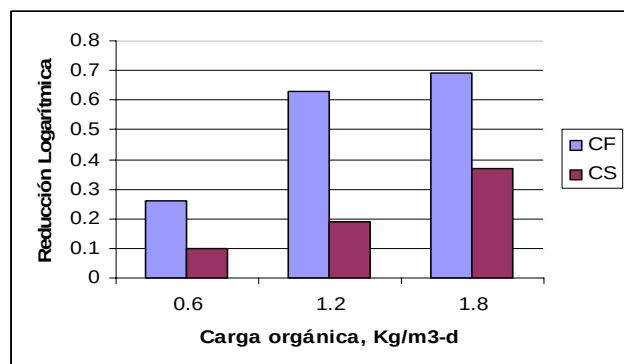


Figura 1. Reducción de bacterias indicadoras a 15 días

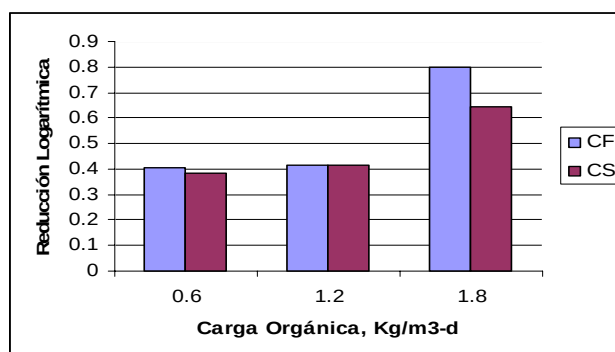


Figura 2. Reducción de bacterias indicadoras a 25 días

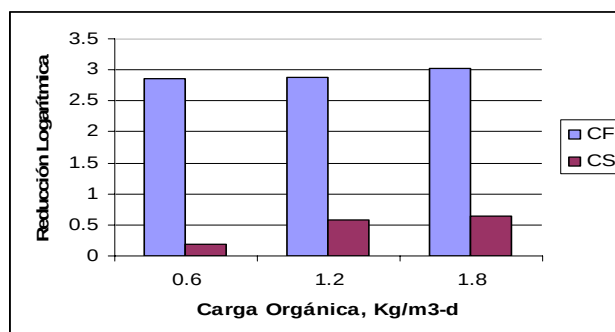


Figura 3. Reducción de bacterias indicadoras a 35 días

Se utilizó el programa Statistica 5.5 para analizar estadísticamente los resultados. En el proceso de digestión, la eliminación de coliformes fecales es la manera más recomendable para evaluar la efectividad del tratamiento. En la figura 4, se muestra una gráfica de superficie, haciendo una comparación entre los 9 experimentos desarrollados.

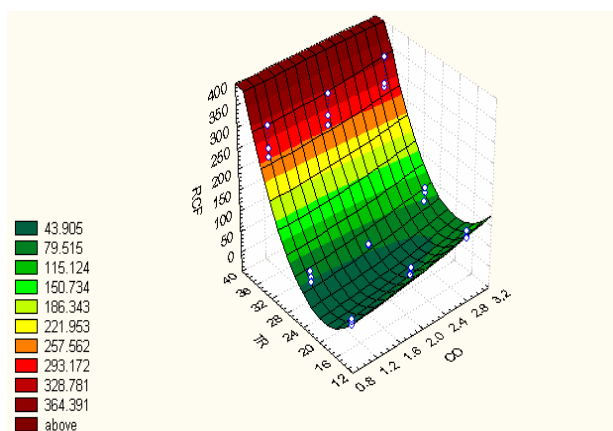


Figura 4. Reducción de coliformes fecales a las diferentes condiciones de operación

IV. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en las tabla 1, se muestra que el contenido de coliformes fecales y *Streptococos* presente en el lodo residual del tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Durango, rebasa las Normas Oficiales Mexicanas (2×10^6 NMP/gr ST). Lo cual representa un peligro el depositar este lodo en el suelo sin haber sido tratado. La alta concentración de sólidos totales y volátiles, permite que estos lodos sean tratados mediante una digestión aeróbica, debido al alto contenido de sólidos volátiles. La alcalinidad presente en el lodo residual, permite que a través de la digestión aerobia el pH no disminuya drásticamente, ya que en la digestión aeróbica, la alcalinidad es consumida durante la nitrificación y esto resulta en una caída del pH (Ganczarczyk, 1980). Una concentración de oxígeno disuelto de 2 mg/L, se mantuvo constante a través de todos los experimentos de digestión. El rango de temperatura durante los procesos de digestión fue de 20 a 25 °C. Se puede observar en las Tablas 2, 3 y 4 que se llegaron a obtener valores de

pH de 6.5 y que de acuerdo a varios autores, trabajar a valores de pH menores a 6.5, se consideran inhibidores del proceso, sin embargo, se ha demostrado que el proceso se aclimatará y se desarrollará a valores bajos de pH (Lue-Hing, 1998). También se observa que la concentración de nitratos aumento en cada uno de los experimentos, y con ello una disminución del pH. Se obtuvieron mayores reducciones de sólidos volátiles (SV) a mayores tiempos de retención, llegando a valores cercanos al 38 por ciento estipulado por la legislación (USEPA, 1999), donde se establece que a valores mayores a 38 %, se asegura la reducción en la atracción de vectores en el biosólido obtenido. Se observa en las Figuras 1, 2 y 3 que a mayor tiempo de retención y mayor carga orgánica, el porcentaje de reducción de sólidos volátiles fue mayor. De la misma manera, resultó la reducción logarítmica de coliformes fecales, resultando en una reducción logarítmica de 3, mayor a la estipulada por la bibliografía (USEPA, 1999). La reducción de coliformes *Streptococos*, no alcanzó en ninguno de los experimentos una reducción logarítmica de 1, debiéndose principalmente a que este tipo de microorganismos son más resistentes a digestiones a temperaturas ambientales. EL análisis estadístico, dio como resultado, que la variable más significativa en el proceso de digestión fue el tiempo de retención. Se observa en la gráfica de superficie de respuesta mostrada en la Figura 4, que a tiempos altos de retención como a altas cargas orgánicas, la reducción de coliformes fecales es mayor. Lo contrario sucede a tiempos de retención cortos y cargas orgánicas bajas, la remoción de coliformes fecales es menor.

V. SUMARIO Y CONCLUSIONES

El color y el olor del lodo estabilizado, es la principal característica física de que el proceso funcionó satisfactoriamente durante la digestión. En este estudio se obtuvieron reducciones de Coliformes Fecales, y Coliformes *Streptococos* para las tres diferentes condiciones de tiempo de retención. Se obtuvieron reducciones de Sólidos Volátiles, hasta de un 36 % a las condiciones de mayor carga orgánica y mayor tiempo de retención.

Se redujo en grandes cantidades la presencia de nitrógeno amoniacal, en el rango de 90 a 98 % en todos los experimentos convirtiéndose a la forma de nitratos, provocando una disminución en pH y la reducción de malos olores. La conversión de nitrógeno amoniacal en nitratos, es un indicativo de estabilidad en el proceso, debido a la nula formación de algas y moho en el lodo.

A altos tiempos de retención y altas cargas orgánica, se obtuvieron más altos porcentajes de remoción de coliformes Fecales y *Streptococos*. Se concluye, que la digestión aeróbica conducida a través de esta investigación, arroja buenos resultados en la destrucción de bacterias indicadoras, garantizando que los lodos tratados por este proceso cumplirán con los estándares de calidad establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas.

VI. AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a Aguas del Municipio de Durango por su apoyo en el uso de las facilidades de la PTAR. Al Instituto Tecnológico de Durango por brindar el apoyo de transporte para el muestreo y manejo de muestras.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ganczarczyk, J., Hamoda, M. F. and Hung-Lit Wong, 1980. Performance of aerobic digestion at different solids levels and operation patterns. *Water Research* 14, 627-633.
- Kuchenrither, R. D. and Benefield, 1983. Mortality patterns of indicator microorganisms during aerobic digestion. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 55, 76-80.
- Lue-Hing, Cecil, Zenz, David R., Tata, Prakasam, Kuchenritcher, Richard, Malina, Joseph. F., Sawyer, Bernard, 1998. Municipal sewage sludge management a reference text on processing, utilization and disposal. Technomic Publishing Co., Inc.
- Martin, M. H., Jr., Bostain, H. E., and Stern, G, 1990. Reduction of Enteric microorganisms during aerobic digestion. *Water Research* 24, 1377-1385.
- Matzuda, A. T. Ide, and Fujii S., 1988. Behavior of nitrogen and phosphorous during batch aerobic digestion of waste activated sludge-continuous aeration and intermittent aeration by control of OD. *Waster Research* 22, 1495-1501.
- Mavinic, D. S. and Koers, D. A, 1982. Fate of Nitrogen in aerobic sludge digestion. *Journal of water Pollution Control Federation* 54, 352-360.
- Peddie, C. C., Mavinic, D. S., and Jenkins, C. J., 1990. Use of ORP for monitoring and control of aerobic sludge digestion. *Journal of Environmental Engineering* 116, 461-471.
- Surampalli, Rao Y., Banerji, Zanca, K., and Chen, J. C, 1993. Microbiological Stabilization of sludge by aerobic digestion and storage. *Journal of Environmental Engineering* 119, 493-505.
- USEPA, 1989. Environmental Regulations and Technology "Control of pathogens in municipal wastewater sludge". EPA/625/10-89/006.
- USEPA, 1999. Environmental Regulations and Technology "Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge". EPA/625/R-92/013.

Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton

Roger Iván Méndez Novelo, Bernardo García Reyes, Elba René Castillo Borges y María Rosa Sauri
Riancho

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Avenida Industrias no Contaminantes por
Anillo Periférico Norte s/n, Tel. (999) 9410191 ext. 7131, Fax. (999) 9410189

e-mail: mnovelo@uady.mx

Resumen

Se presentan los resultados de aplicar el proceso Fenton a los lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Mérida. Se determinaron el tiempo óptimo de reacción, los valores óptimos de pH y dosis de reactivo Fenton así como las dosis óptimas para el postratamiento coagulación - floculación. 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. Los porcentajes de remoción promedio de materia orgánica, medida como DQO_5 fue de 78% y medida como COT fue de 87%.

Palabras Clave. Fenton, lixiviado, tratamiento fisicoquímico, índice de biodegradabilidad.

Abstract

Results from the application of Fenton process to treat leachates from the sanitary landfill of Merida City are presented. Optimal reaction time, pH values, doses of Fenton reactant and optimal doses for coagulation - flocculation post treatment were determined. Process conditions and optimal doses for the oxidation process were: contact time of 20 minutes, pH of 4, H_2O_2 concentration of 600 mg/l and Fe^{2+} of 1000 mg/l. Average removal of organic mater, measured as COD_5 was 78% and 87% measured as TOC.

Keywords. Fenton, leachate, physicochemical treatment, biodegradability index.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los tratamientos fisicoquímicos más prometedores para lixiviados es el de la oxidación Fenton, que consiste en la oxidación de la carga contaminante con una combinación de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso (reactivo Fenton), típicamente a presión atmosférica y temperatura entre 20 °C y 40 °C. 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 proceso Fenton involucra:

- Un cambio estructural de los compuestos orgánicos que posibilitan un eventual tratamiento biológico posterior,
- una oxidación parcial que redunde en una disminución de la toxicidad del efluente, y/o
- una oxidación total de los compuestos orgánicos en sustancias inocuas que posibilitan una descarga segura del efluente sin necesidad de un posterior tratamiento.

El agente responsable de la oxidación en el proceso Fenton es el radical hidroxilo ($\bullet\text{OH}$), $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} + \bullet\text{OH}$. Este radical libre es en extremo reactivo y se forma por la descomposición catalítica del peróxido de hidrógeno en un medio ácido (Kitis *et al.* 1999, Yoon *et al.* 2001; Lu *et al.* 2001). Existen una gran variedad de

compuestos orgánicos que son pasibles del ataque con el reactivo Fenton. Algunos compuestos son más refractarios que otros, requiriendo de temperaturas más elevadas para su oxidación. Por ejemplo el benceno o el fenol se oxidan con relativa facilidad, mientras que los derivados clorados son menos reactivos y demandan mayor tiempo para su tratamiento o temperaturas más elevadas. En muchos casos, un substrato orgánico aparentemente refractario al tratamiento puede ser oxidado alterando las condiciones de temperatura, pH o concentración de catalizador.

Existen numerosos estudios sobre el efecto del reactivo Fenton en la remoción de contaminantes de lixiviados de rellenos sanitarios. Cuando se utiliza una proporción de $[\text{Fe}^{2+}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ igual o mayor a 1.25, la reacción Fenton puede dividirse en dos procesos. El primer proceso es una oxidación inicial a valores bajos de pH alrededor de 3. El segundo proceso, el cual sigue al proceso de oxidación, es la coagulación-floculación a valores altos de pH (entre 7 - 8). Se interpreta que el paso de coagulación en la reacción Fenton tiene un rol primariamente en la remoción selectiva de contaminantes, ya que la reacción Fenton no es una coagulación. Sin embargo, ya que la eficiencia de la remoción de contaminantes orgánicos en la reacción Fenton resulta más alta que la coagulación, la reacción Fenton en el proceso de tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios puede ser llamada como un tipo de “coagulación mejorada” (Yoon *et al.*, 2001).

El relleno sanitario de la ciudad de Mérida, utiliza un material de cubierta denominado sahcab que posee elevadas concentraciones de carbonato de calcio que al contacto con el agua de lluvia se presenta la reacción $\text{CO}_2 + \text{Ca} \Rightarrow \text{CaCO}_3$, lo que incrementa la

dureza del líquido y el aporte de calcio a los lixiviados. Por otra parte, al aplanar el sahcab durante la operación del relleno, se reduce su porosidad y actúa como filtro dentro del relleno, por lo que el contenido de sólidos suspendidos del lixiviado es bajo. Méndez *et al.* (2005) reportan concentraciones de SST = 73 mg/l y ST = 12810 mg/l, por lo que el 99% de los sólidos se encuentra en forma disuelta. A una conclusión semejante se llegó cuando se compararon los valores de la DQO total y soluble: $\text{DQO}_t = 5764 \text{ mg/l}$ contra $\text{DQO}_s = 5532 \text{ mg/l}$, por lo que el 96% de la DQO se encontraba en forma soluble. Otra característica de este lixiviado es su baja concentración de DBO_5 , lo que implica que el índice de biodegradabilidad (DBO_5/DQO) varíe de 0.06 a 0.08 entre las distintas celdas del relleno.

La baja concentración de partículas suspendidas de los lixiviados produjeron bajas eficiencias de remoción con procesos fisicoquímicos del tipo coagulación-floculación o flotación (Méndez *et al.*, 2005, Méndez *et al.*, 2006), por lo que se ensayó el proceso Fenton.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron tresmuestreos de lixiviado de las lagunas de evaporación del relleno sanitario de la ciudad de Mérida. A cada muestra de lixiviado crudo se le determinaron las concentraciones de DQO total y soluble, DBO_5 total y soluble, COT, pH, alcalinidad, conductividad y turbiedad de acuerdo a las técnicas establecidas en el Standard Methods (APHA-AWWA-WPCF, 1998).

Se determinaron en un equipo de agitación múltiple, el tiempo de contacto, el pH y la dosis de reactivo Fenton (peróxido y Fe^{2+}) óptimos. Para obtener el tiempo óptimo de reacción se probaron dosis de peróxido de hidrógeno de 200 y 800 mg/l y de hierro de 250 y 1000 mg/l, respectivamente. 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 por duplicado 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 y 3 valores de pH (2, 3 y 4). 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 las dosis óptimas del proceso coagulación-floculación posterior al

Fenton, se probaron 3 dosis de coagulante de cloruro férrico (400, 600 y 800 mg de FeCl_3 /l, evaluados por duplicado. Se realizaron ensayos al lixiviado, en pruebas de jarras, sometido al proceso de oxidación avanzada con las dosis óptimas del reactivo Fenton. Los resultados fueron evaluados con base en la remoción de materia orgánica medida como DQO y COT solubles. Los resultados se compararon con el proceso Fenton.

La reducción del índice de biodegradabilidad (IB) se determinó realizando 6 ensayos: 3 con los valores óptimos del proceso Fenton y 3 con el proceso Fenton seguido del de coagulación-floculación con dosis de 400, 600 y 800 mg/l de FeCl_3 .

Los resultados de la determinación de tiempo de contacto, el pH y la dosis de reactivo Fenton (peróxido y Fe^{2+}) óptimos y el proceso coagulación-floculación se sometieron a un análisis de varianza y posteriormente se contrastaron las medias de cada tratamiento por el método de diferencia mínima significativa.

III. RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la caracterización de los lixiviados y en la Tabla 2, se especifican los tratamientos ensayados para determinar los valores de pH y dosis de reactivo Fenton óptimos.

Tabla 1. Caracterización de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Mérida

Parámetro	Unidad	Promedio	Mínimo	Máximo
pH	Unidades de pH	8.57	8.35	8.85
Conductividad	ms/cm	21.83	19.14	23.00
Alcalinidad	mg/l	6116	5322	6607
Turbiedad	NTU	55	53	56
DBO ₅ total	mg/l	647	397	850
DBO ₅ soluble	mg/l	583	351	765
DQO total	mg/l	9080	7725	10008
DQO soluble	mg/l	8736	7528	9654
DQOs/DQO _T	%	96	93	97
DBO ₅ /DQO _T	%	0.07	0.04	0.10
CI	mg/l	1482	113	1982
CT	mg/l	3748	2676	4354
COT soluble	mg/l	2266	1938	2990

En la Figura 1, se representa la variación del % de remoción de la DQO soluble con

respecto del tiempo de contacto de dos valores extremos del reactivo Fenton

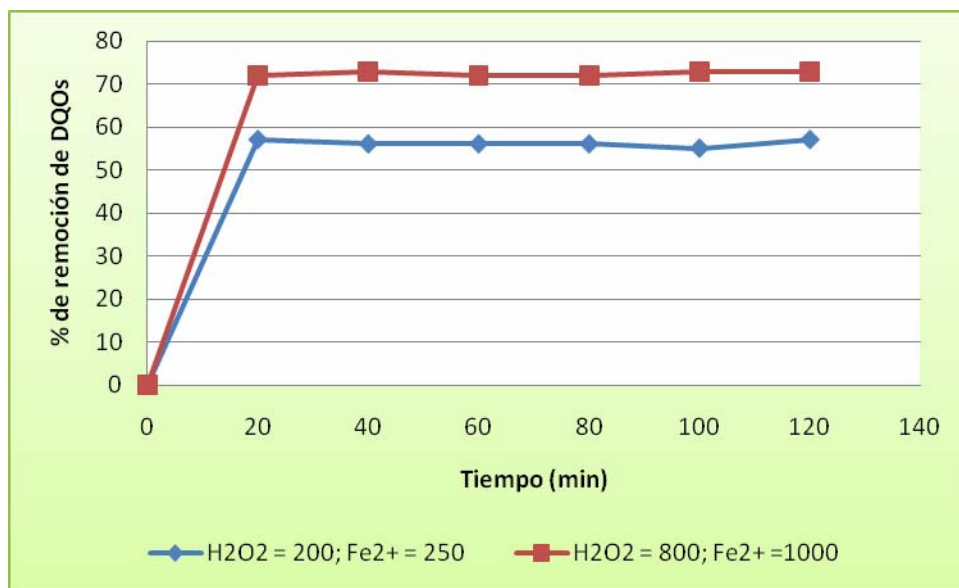


Figura 1. Determinación del tiempo de contacto óptimo

Tabla 2. Tratamientos para determinar los valores óptimos de pH y reactivo Fenton

Tratamiento	Valores de pH	Reactivo Fenton (mg/l)	
		H ₂ O ₂	Fe ²⁺
1	2, 3, 4	200	250
2	2, 3, 4	200	500
3	2, 3, 4	200	750
4	2, 3, 4	200	1000
5	2, 3, 4	400	250
6	2, 3, 4	400	500
7	2, 3, 4	400	750
8	2, 3, 4	400	1000
9	2, 3, 4	600	250
10	2, 3, 4	600	500
11	2, 3, 4	600	750
12	2, 3, 4	600	1000
13	2, 3, 4	800	250
14	2, 3, 4	800	500
15	2, 3, 4	800	750
16	2, 3, 4	800	1000
17	2	0	0
18	3	0	0
19	4	0	0

En la Tabla 3, se muestran las eficiencias de remoción de DQO soluble y

de COT obtenidas para determinar los valores óptimos de pH y reactivo Fenton

Tabla 3. % de remoción de materia orgánica medida como DQO soluble y como COT (DQOs/COT)

Tratamiento	pH = 2		pH = 3		pH = 4	
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 1	Réplica 2
1	39/19	48/36	51/41	48/31	53/46	49/35
2	45/27	48/41	52/47	51/36	64/57	59/41
3	36/27	47/44	55/49	50/36	59/50	54/49
4	46/26	49/44	57/51	51/38	65/60	58/42
5	44/23	47/39	52/44	54/47	57/49	50/37
6	47/40	57/49	60/55	62/54	69/63	65/49
7	47/36	55/49	58/59	56/60	67/68	68/56
8	55/35	55/45	59/59	58/59	73/69	64/55
9	41/26	50/41	56/49	57/47	52/52	55/45
10	49/32	50/48	69/59	63/58	68/65	66/51
11	46/34	50/51	68/64	67/62	69/71	70/57
12	63/38	57/46	69/66	70/64	72/72	72/63
13	40/32	27/21	51/46	55/46	50/42	53/36
14	45/38	40/28	62/58	63/57	60/45	66/47
15	47/41	33/29	60/65	65/60	68/53	74/55
16	52/43	44/31	66/67	70/64	70/56	73/58
17	33/25	31/28				
18			30/34	32/23		
19					34/20	33/16

En la Tabla 4, se muestran los resultados para el índice de biodegradabilidad para

el proceso Fenton y el Fenton seguido de coagulación-floculación.

Tabla 4. Índice de biodegradabilidad (IB) del lixiviado tratado con con los procesos Fenton y Fenton seguido de coagulación-floculación

Tratamiento	Reactivo Fenton		Fenton + Coagulación-Floculación	
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2
1	0.11	0.11	---	---
1	0.090	0.11	---	---
1	0.09	0.11	---	---
2	---	---	0.11	0.13
3	---	---	0.12	0.13
4	---	---	0.09	0.13

IB del lixiviado crudo = 0.07

IV. DISCUSIÓN

El material de cubierta, 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.

En la Tabla 1 puede observarse que la mayor parte de la materia orgánica se encuentra en forma disuelta, sólo el 4% de la materia orgánica medida como DQO es suspendida, lo que justifica bajas remociones obtenidas en estos lixiviados con los procesos fisicoquímicos: coagulación-floculación y flotación (Méndez *et al.*, 2005, Méndez *et al.*, 2006).

El pH es 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 dos americanos. La elevada alcalinidad puede deberse fundamentalmente por la

presencia de amonio y al tipo de material de cubierta (sahcab) que le otorga al lixiviado carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio.

En la Figura 1 se muestra la variación de la eficiencia de remoción de materia orgánica respecto del tiempo de contacto. Se determinó que 20 minutos fue el mejor tiempo de reacción en el rango estudiado, ya que la remoción promedio (para ambas combinaciones) se mantiene aproximadamente constante conforme aumenta el tiempo de reacción. A resultados semejantes llegaron Hee-Chan Yoo *et al.* (2001) trabajando el proceso Fenton en lixiviados, obteniendo que las eficiencias de remoción se hacen asintóticas a partir de 20 minutos, sin embargo, otros investigadores han obtenido tiempos de reacción óptimos diferentes como se presentan en la Tabla 5.

De los análisis de varianza realizados para determinar la influencia del pH y del tratamiento en la remoción de materia orgánica medida como DQO o como COT, se obtuvo que ambas fuentes de variación fueron significativas resultando que el mejor pH es el de 4 y el mejor tratamiento

el número 12 que corresponde a una dosis de 600 mg/l de H_2O_2 y 1000 mg/l de Fe^{2+}

(Figuras 2, 3, 4 y 5).

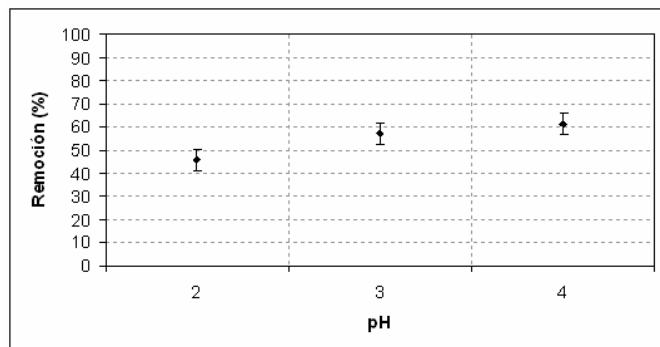


Figura 2. Remoción promedio de materia orgánica medida como DQO_5 en función del pH

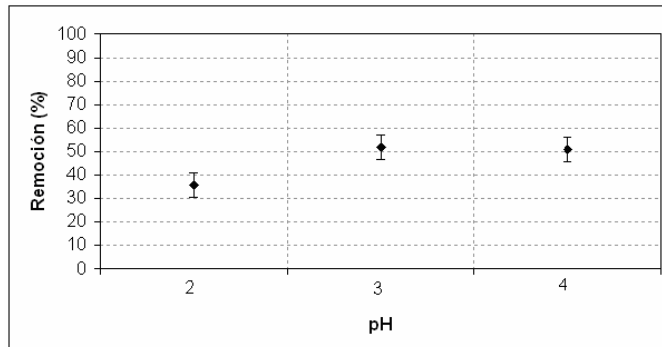


Figura 3. Remoción promedio de materia orgánica medida como COT en función del pH

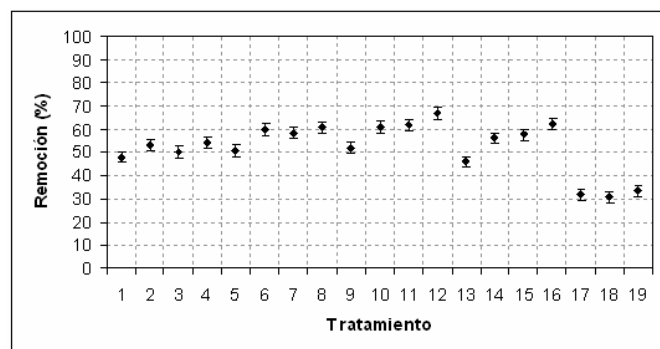


Figura 4. Remoción promedio de materia orgánica medida como DQO_5 en función del tratamiento

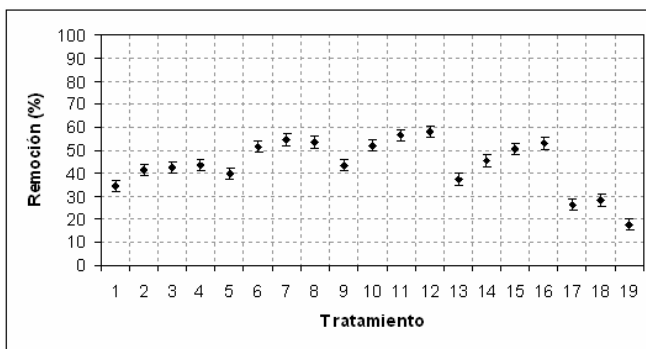


Figura 5. Remoción promedio de materia orgánica medida como COT en función del tratamiento

Las mejores remociones de materia orgánica fueron: 72% de DQO_5 y 68% de COT, ambas a valores de $\text{pH} = 4$.

Se reportan en la literatura algunas experiencias de altas remociones de materia orgánica en lixiviados con procesos coagulación-floculación cuando utilizan dosis elevadas de coagulante: Dae-Hee *et al.* (2002) obtuvieron remociones del 83% en DQO usando dosis de 4000 mg/l de coagulante; Duran *et al.* (2002) usando dosis de 800 mg/l de sulfato férrico y 600 mg/l de sulfato de aluminio removieron el 78% de la materia orgánica medida como DQO . Las altas dosis de coagulante metálico, si existe una baja alcalinidad,

propicia la reducción del pH, y con éste la eliminación de partículas coloidales de pequeño tamaño que le infieren color al lixiviado.

Para determinar si las remociones se deben al proceso coagulación-floculación posterior al Fenton (tratamientos 2, 3 y 4), al proceso Fenton (tratamiento 1), a la reducción del pH (tratamiento 5) o a una sobredosis (tratamiento 6), se analizaron los resultados mediante una ANOVA obteniendo que cuando se considera a la DQO_5 como la variable respuesta, no existe diferencia significativa en % de remoción entre el proceso Fenton y el Fenton seguido de coagulación-floculación con ninguna de

las dosis probadas, pero que sí son más eficientes que cuando únicamente se reduce el pH o se trata con sobredosis (Figuras 6 y 7).

Cuando se consideró a la COT como variable respuesta, hubo diferencia

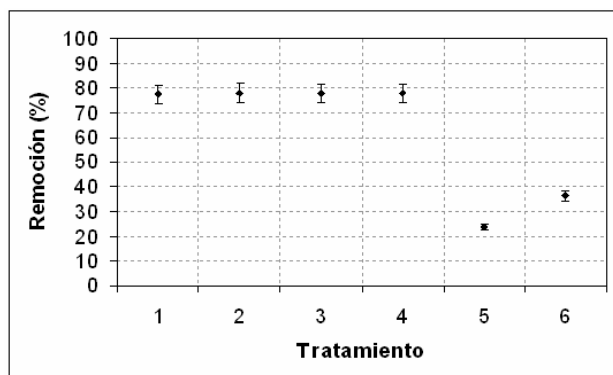


Figura 6. Remoción promedio de materia orgánica medida como DQOs en función del tratamiento

significativa entre el proceso Fenton y el proceso Fenton seguido de coagulación-floculación, pasando de una remoción de 72% a otra de 87% con sobredosis de 400 mg/l de FeCl_3 .

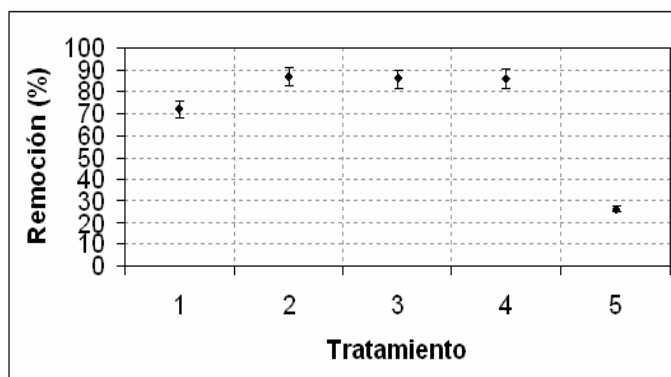


Figura 7. Remoción promedio de materia orgánica medida como COT en función del tratamiento

El índice de biodegradabilidad se incrementó de 0.07 a 0.11 en el proceso Fenton y hasta 0.13 en el Fenton seguido de coagulación-floculación, pero resulta bajo para tratamientos biológicos.

En la tabla 5, se presenta un concentrado de resultados del proceso Fenton:

López *et al.* (2003) reportan eficiencias de remoción del 60% con base en la DQO (tiempo de contacto de 120 min., pH igual a 3, $\text{H}_2\text{O}_2 = 10000 \text{ mg/l}$ y $\text{Fe}^{2+} = 830 \text{ mg/l}$). También encontraron que el índice de biodegradabilidad aumentaba hasta 0.5 (desde un valor inicial de 0.218) después de agregar el reactivo Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2 = 3300 \text{ mg/l}$ y $\text{Fe}^{2+} = 275 \text{ mg/l}$) y permitir la coagulación de los iones de Hierro remanentes, incrementando el valor de pH a 8.5, además se agregaron 3000 mg/l de Ca(OH)_2 y 3 mg/l de polielectrolito catiónico, como ayudante de coagulación. El último paso aumenta un porcentaje pequeño de remoción de DQO debido al fenómeno de co-precipitación.

Hui Zhang *et al.* (2005) obtuvieron eficiencias de remoción de DQO desde 61%, 49% y 38%, cuando los valores de DQO iniciales fueron 1000, 2000 y 3000 mg/l, respectivamente (tiempo de contacto de 30 min., pH = 2.5, $\text{H}_2\text{O}_2 = 2550 \text{ mg/l}$ y $\text{Fe}^{2+} = 2792.35 \text{ mg/l}$). Además comprobaron que la adición del reactivo Fenton en etapas mejora la eficiencia de remoción, aunque aumenta la eficiencia en mayor proporción por la adición por etapas del H_2O_2 y Fe^{2+} que solamente la adición por etapas del H_2O_2 . La sedimentación del lodo aumentó con la adición del polímero. La temperatura tiene un efecto positivo sobre la remoción de compuestos orgánicos.

Ivan W. C. Lau *et al.* (2001) trataron el lixiviado del relleno sanitario de Hong Kong (15700 mg/l de DQO y 2260 mg/l de nitrógeno amoniacal) en un UASB a 37.7°C. El proceso removió el 90% de DQO, en 6.6 días de TRH, a una carga orgánica de 2.37 g de DQO/l·d. El efluente del UASB fue tratado con el reactivo Fenton y

coagulación. Bajo la condición óptima de 200 mg/l de H_2O_2 y 300 mg/l de Fe^{2+} y un pH inicial de 6.0, se removió el 70% del DQO residual, del cual el 56% se removió por coagulación/precipitación y solamente 14% por oxidación. Encontraron que el H_2O_2 y el Fe^{2+} tienen un efecto sinérgico sobre la coagulación.

F. Javier Rivas *et al.* (2003) estudiaron el tratamiento de lixiviados estabilizados, de un relleno sanitario en España, por medio del reactivo Fenton. Sus resultados demuestran que el estado del catalizador no influye sobre la eficiencia del proceso en términos de DQO. Además comprobaron que el aumento de temperatura disminuye la oxidación porque se desperdicia más peróxido de hidrógeno (si la temperatura se mantiene constante entre 15 y 30 °C, aproximadamente 10 mg/l de H_2O_2 consumen 1 mg de DQO/l). Demostraron que el tratamiento de efluentes con reactivo Fenton es una alternativa viable basado en un análisis económico. En un estudio posterior (Rivas *et al.*, 2005) de los mismos autores, obtuvieron eficiencias de remoción del 25% (con base en la DQO con valores iniciales de 7500 mg/l) de los lixiviados crudos únicamente por coagulación-floculación debido al decremento del valor de pH a 2; remociones del 40% de DQO, relacionado con la DQO del sobrenadante después de bajar el pH a 2, debido a la coagulación-floculación por adición de Fe^{2+} (558 mg/l) a pH = 3.5; remociones del 80% de DQO, relacionado con la DQO del sobrenadante después de bajar el pH a 2, por oxidación con reactivo Fenton (Ajustando el pH a 3.5, Fe^{2+} = 558 mg/l, y H_2O_2 = 34000 mg/l); remociones del 90% de DQO, relacionado con la DQO del sobrenadante después de bajar el pH a 2, por coagulación-floculación del efluente de oxidación con reactivo Fenton, además se agregaron 558 mg Fe^{2+} /l.

Baris Cali *et al.* (2005) trataron el lixiviado del relleno sanitario de Estambul, con índice de biodegradabilidad de 0.6, en un UASB y alcanzaron remociones de DQO del 90%, cuando se controlaba el pH para mantener los niveles de inhibición por amonio libre. Se usó nitrificación y desnitrificación, desorción con aire y precipitación para remover amonio en el lixiviado alcanzando remociones de DQO de 94 al 98%. Finalmente se alcanzaron remociones con base en la DQO de 85% de material recalcitrante usando ozono o reactivo Fenton (tiempo de contacto = 5 minutos, pH entre 3.5 - 4.0, 2000 mg/l de H_2O_2 y 1000 mg/l de Fe^{2+}).

Trujillo *et al.* (2006) trabajando con lixiviados de composteo, determinaron las relaciones óptimas entre los reactivos usados en proceso Fenton y la concentración de materia orgánica medida como DQO, obteniendo $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{DQO}_5] = 1$ y $[\text{Fe}^{2+}]/[\text{DQO}_5] = 0.1$. Las mejores remociones que obtuvieron fueron de 75% de DQO_5 y 98% de DBO_5 , con valores de pH = 3 y tiempo de contacto de 60 minutos.

No obstante que el Fe^{2+} actúa sólo como catalizador, en la Tabla 5 se pueden observar experiencias con concentraciones de 275 a 2792 mg/l de este reactivo. En el caso del H_2O_2 , las concentraciones varían de 200 a 34000 mg/l y las relaciones $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{DQO}_5]$ varían de 0.07 (correspondiente al lixiviado de la ciudad de Mérida) a 4.20. Estas variabilidades del proceso Fenton implican que se requiere de más investigación para determinar las concentraciones óptimas del reactivo Fenton.

V. CONCLUSIONES

1. Las condiciones y dosis óptimas del proceso de oxidación fueron: tiempo de contacto de 20 minutos, pH igual a 4,

concentraciones de H_2O_2 de 600 mg/l y Fe^{2+} de 1000 mg/l.

2. Con los valores óptimos, de reactivo Fenton y pH, se obtuvieron porcentajes de remoción de materia orgánica en lixiviados de 77% con base en la DQO y 72% como COT.

3. Los porcentajes de remoción promedio de materia orgánica (medida como DQO) en lixiviados con el proceso Fenton seguido de coagulación-floculación, para las dosis de coagulante de 400, 600, y 800 mg de FeCl_3/l fueron: 77%, 78% y 78%, respectivamente. En cambio, para las mismas concentraciones del coagulante, las eficiencias alcanzadas medidas como COT fueron: 87%, 86% y 86%.

4. La remoción de DBO_5 con los valores óptimos del reactivo Fenton fue de 44%, con lo que el índice de biodegradabilidad (DBO_5/DQO) se incrementó de 0.07 a 0.13.

5. El lixiviado recolectado de las lagunas de evaporación, que se produce en el relleno sanitario, no es susceptible para el tratamiento biológico ya que el índice de biodegradabilidad ($\text{DBO}_{5\text{T}}/\text{DQO}_5$) promedio es igual a 0.07.

6. Analizando la relación $\text{DQO}_5/\text{DQO}_\text{T}$ del lixiviado se encuentra que el 96% de la materia orgánica se encuentra en forma disuelta.

Tabla 5. Comparación de resultados con trabajos anteriores

Parámetro	Unidad	Mérida a	Italia b	Delaware, USA c	Hong kong d	España1 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
H ₂ O ₂	mg/l	600	3300	1000 0	2550	200	34000	2000
Fe ²⁺	mg/l	1000	275	830	2792	300	558	1000
Eficiencia alcanzada								
DQO	%	77		60	61	49	38	70
COT	%	71	-	-	-	-	-	-
DBO ₅	%	44	-	-	-	-	-	-
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.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA-AWWA-WPCF, (1998), "Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th Edition, USA.
- Baris Calli, Bulent Mertoglu, Bulent Inanc, (2005), Landfill leachate management in Istanbul: applications and alternatives, *Chemosphere*, Vol. 59, 819 - 829 pp.
- Dae-Hee Ahn, Yun-Chul Cheng and Won-Seok Chang, (2002), "Use of coagulant and zeolita to enhance the biological treatment efficiency of high ammonia leachate", *Journal of Environmental Science Health*, A37(2), pp. 163-173.
- Durán P., Ramírez Z. y Durán M., (2002), "Bioadsorción de lixiviados viejos clarificados", *Memorias del XIII Congreso Nacional de la FEMISCA*, pp. 455-460, Morelia, México.
- Hee-Chan Yoo, Soon-Haing Cho and Seok-Oh Ko, (2001); "Modification of coagulation and Fenton oxidation processes for cost-effective leachate treatment", *Journal of Environmental Science and Health*, Vol. 36, No. 1, pp. 39-48.
- Hui Zhang, Heung Jin Choi, Chin-Pao Huang, (2005), Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leachate, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. B125, 166-174 pp.
- Ivan W. C. Lau, Peng Wang, and Herbert H. P. Fang, (2001), Organic removal of anaerobically treated leachate by fenton coagulation, *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 127, No. 7, 666 - 669 pp.
- J. Yoon, Y. Lee, S. Kim, 2001, Investigation of the reaction pathway of OH radicals produced by Fenton oxidation in the conditions of wastewater treatment, *Wat. Sci. Technol.*, Vol. 44 (5), 15-21.
- Lopez A., Pagano M., Volpe A. y Di Pinto A., (2003), "Fenton's pré-treatment of mature landfill leachate", *Chemosphere*, Vol. 54, pp. 1005-1010.
- M. Kitis, C.D. Adams, G.T. Daigger, 1999, The effects of Fenton's reagent pretreatment on the biodegradability of non-ionic surfactants, *Wat. Res.*, Vol. 33 (11), 2561-2568 pp.
- M.-C. Lu, C.-J. Lin, C.-H. Liao, W.-P. Ting, R.-Y. Huang, 2001, Influence of pH on the dewatering of activated sludge by Fenton's reagent, *Wat. Sci. Technol.* Vol. 44 (10) 327-332 pp.
- Méndez N. R., Castillo B. E., Sauri R. M., Quintal F. C., Giacomán V. G. and Jiménez C. B., (2005), "Physico-chemical treatment of Mérida landfill leachate for oxygen demand reduction by coagulation", *Waste Management & Research*, Vol. 23, pp. 560-564
- Méndez R, Novelo A., Castillo B. y Coronado V., (2006), "Tratamiento de lixiviados por flotación", *Memorias del XV Congreso Nacional de la FEMISCA*, Guadalajara, México.
- Rivas F. J., Beltrán F., Gimeno O. y Carvalho F., (2003), "Fenton like oxidation of landfill leachate", *Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, Vol. A38, No. 2, pp. 371-379.
- 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*, No. 44, pp. 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, pp. 627-637.
- Trujillo D., Font X. and Sánchez A., (2006), "Use of Fenton reaction for the treatment of leachate from composting of different wastes", *Journal of Hazardous Materials*, B138, pp. 201-204.

Diseño y construcción de biodigestores anaerobios para el tratamiento de residuos orgánicos municipales en Mexicali

Marcela Ovalle-Marroquín, Nicolás Velázquez-Limón, Sara Ojeda-Benítez, Daniel Aguayo-Siqueiros

Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California
Mexicali, Baja California, México.
Email: marcelaovalle@gmail.com

RESUMEN

En este artículo se presenta un análisis de la viabilidad del tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales a través del uso de la digestión anaeróbica como una forma de aprovechamiento de algo considerado como problema.

Se realiza una caracterización de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales como fuente de biomasa aprovechable. Con la composición esperada de la materia orgánica, se establecen las condiciones de operación de los biodigestores, se efectúa el dimensionamiento del prototipo piloto y se estima para diferentes escenarios la cantidad y calidad del biogás a producir.

Se evalúa el potencial de los residuos orgánicos municipales de Mexicali, para la utilización de estos en la digestión anaeróbica, se observa que con los residuos orgánicos producidos por una familia de 5 miembros se puede obtener 1453Lt/día de Biogás.

Se presentan además los cálculos realizados para el dimensionamiento de un biodigestor apto para las condiciones de la región y una descripción detallada de la construcción de la planta piloto propuesta.

La tecnología de digestión anaeróbica desarrollada puede suministrar la energía necesaria para aplicaciones de enfriamiento termosolar, agua caliente, gas para cocina y generación de electricidad requeridas en el sector residencial.

Palabras Clave: Digestión anaeróbica, residuos orgánicos municipales, biogás.

ABSTRACT

This article presents an analysis of the viability of the treatment of the organic fraction of the municipal solid waste through use of the anaerobic digestion as a form of advantage of something considered like problem.

A characterization of the organic fraction of the solid municipal residues like source of usable biomass comes true. With the composition expected of the organic matter, the operating conditions of the biodigestors become established, the sizing of the pilot prototype takes effect, and the amount and quality from the produced biogas considered for different scenes.

The potential of the municipal organic remainders of Mexicali is evaluated for the use of these in the anaerobic digestion, it is observed that with the organic waste produced by a family of 5 members, 1453Lt/d of biogas can be obtained.

The calculations accomplished for the sizing of an apt biodigestor for the conditions of the region and detailed descriptions of the construction of the pilot proposed plant show up besides.

The technology of anaerobic developed digestion can supply the necessary energy for applications of termosolar cooling, hot water, gas for kitchen and generation of electricity required at the residential sector.

Key words: Anaerobic digestion, municipal organic waste, biogas.

1. INTRODUCCION

Debido al crecimiento poblacional que se presenta en las ciudades del mundo, la producción de residuos sólidos municipales (RSM) se ha visto en aumento y su disposición final en la mayoría de los casos, es la de relleno sanitario; la cual no siempre es la solución más adecuada en cuanto a problemas de operación y de ubicación, traduciéndose en un fuerte impacto ambiental. Mexicali no es la excepción, la población de esta ciudad representa el 33% del total de población del estado de Baja California y se duplica cada 10 años (Ojeda et al. 2001).

Se han realizado estudios de generación y cuantificación de residuos del sector residencial de Mexicali, donde se ha encontrado que del total de residuos generados, el 48% corresponde a restos de comida, los cuales contienen potencial para ser utilizados como fuente de biomasa (Ojeda et al. 2003).

Las tecnologías que tienen como objetivo el aprovechamiento de los residuos, como el reciclaje, están siendo implementadas en el mundo con mucho éxito, convirtiéndose en una importante y muy rentable industria de reciclado, en este sentido, Ojeda et al (2002), analizaron el sistema de recuperación de materiales reciclables del flujo de los residuos municipales y encontraron que, en la localidad, sólo se realiza de manera informal por un sector de la sociedad, por lo que propusieron un modelo para su integración al sector formal, sin embargo, no incluyeron los residuos de origen orgánico.

Estos programas de reciclaje selectivo, al no preocuparse de la fracción orgánica de los RSM, no se aprovecha el gran potencial de producción de energía a partir de la biomasa; y es proporcional al crecimiento

de los rellenos sanitarios y por ende a la contaminación producida por éstos.

Es en este escenario, en el que se empiezan a considerar otras formas de tratamiento de residuos sólidos, dando lugar a la explotación o revaloración de estos desechos, para así lograr la reducción al mínimo de la disposición final de los residuos sólidos a los rellenos sanitarios.

La digestión anaeróbica para la obtención de biogás, constituye una alternativa energética importante, en esta época en donde es evidente la disminución de las reservas de combustibles fósiles y el incremento de su precio.

De igual manera, al implementar este proceso para el aprovechamiento de los desechos orgánicos, se disminuye la producción de gases de invernadero, ya que se evita la generación de metano en los rellenos sanitarios, el cual tiene alrededor de 25 veces más efecto invernadero que el dióxido de carbono.

2. DIGESTIÓN ANAERÓBICA

La digestión anaeróbica es la descomposición de material orgánico por medio de una serie bacterias anaeróbicas, estas bacterias tienen la capacidad de convertir substratos complejos en moléculas simples como metano y dióxido de carbono, como es el caso de la metanogénesis, a través de una serie de etapas como se observa en la figura 1. El gas producto de esta fermentación es conocido como biogás.

Sobre el diagrama de la figura 1, hay que considerar el tipo de sustrato que se usa en la digestión, si son materiales fácilmente fermentables, (residuos ricos en ácidos grasos, azúcares simples, etc.). La etapa limitante del proceso de fermentación es generalmente el metanogénico; por otro lado, durante la digestión anaerobia de

materiales complejos, por ejemplo los desperdicios agrícolas y urbanos, los cuáles son primordialmente compuestos celulósicos y pequeñas cantidades de lípidos y proteínas, la etapa restrictiva del proceso es a menudo la hidrolítica, esto dado que es necesario una gran cantidad de energía para desdoblar los polímeros en fragmentos más pequeños o en sus monómeros. (Soto et al. 1993).

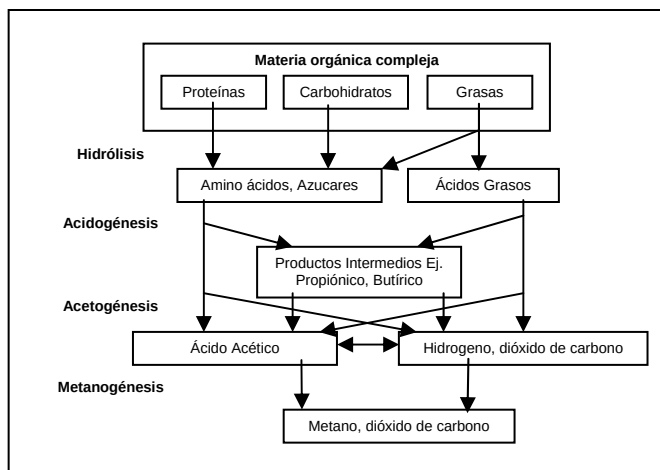


Figura 1. Etapas del proceso de digestión anaeróbica

En la etapa de hidrólisis las bacterias fermentadoras descomponen las grandes moléculas orgánicas complejas (proteínas, grasas y almidones), en sustancias más sencillas (azúcares, alcoholes, glicéridos, péptidos y aminoácidos). Posteriormente, en la siguiente etapa se toman los productos anteriores y se transforman principalmente en ácidos carboxílicos, como acético, propiónico, butírico, entre otros, siendo el primero de ellos el más importante, en esta reacción intervienen las bacterias acetogénicas. Finalmente se realiza la reacción de los ácidos carboxílicos hacia metano, por medio de la intervención de las bacterias metanogénicas. Las bacterias metanogénicas se multiplican más lentamente que las de las primeras etapas y

se recomienda colocar un soporte para catalizar la formación de las colonias (Carrillo 2003).

En todo proceso en el que intervienen bacterias, los parámetros de operación son muy específicos para la obtención de los productos que se de sean, como se muestra en la tabla 1. (Gerardi, 2003)

Tabla 1. Condiciones de operación para digestión anaeróbica

Condición	
pH	6.8 – 7.2
Temperatura mesofílica	30 – 37 °C
Temperatura termofílica	50 – 56 °C
Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	15 -25 días
Sólidos Solubles Volátiles (SSV)	1.6 a 4.8 kgVSS/m ³ -d
Relación C/N	20:1 – 30:1

3. POTENCIAL DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES

Antes de hacer el balance de masa del proceso es necesario conocer la producción de RSM. Según cifras del Instituto Nacional de Ecología (INE), Mexicali generaba en 1998, 772.7 ton/día de residuos sólidos municipales, de este valor se tiene estimado que por habitante la generación promedio de residuos sólidos es de 1.01kg/hab/día. (INE, 1998).

Los datos obtenidos por Ojeda et al (2003), que cuantificó los residuos del sector residencial de Mexicali, coinciden con los del INE, ya que se encontró que del total de residuos generados el 48% corresponde a restos de comida y otros orgánicos, los cuales contienen potencial para la producción de biogás. Cordova et al. (2006), comenta que para cada tipo de residuo se

tiene una producción de biogás específica, en el caso de la fracción orgánica de los residuos municipales, está entre 75 y 120 Lt. de biogás/kg. de sólido fresco digerido. Teniendo en cuenta lo anterior, en la figura 2 se presenta el balance de masa y energía para un biodigestor con los residuos producidos en una familia de cinco miembros de la ciudad de Mexicali.

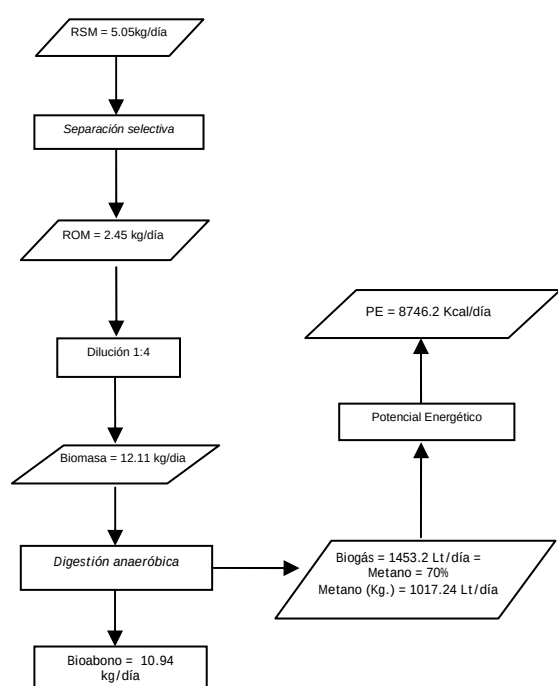


Figura 2. Balance de masa de la digestión anaeróbica

El gas obtenido puede tener varias aplicaciones en el hogar, como en cocinas, calentadores y refrigeradores, en los dos primeros, para que funcionen con este gas, se realiza una modificación que consiste en la ampliación del paso del gas a los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisorio e interesante su utilización a gran escala. En la tabla 2 se presentan los diferentes escenarios en el que se puede usar el biogás como fuente de energía (Jarauta, 2005).

Tabla 2. Algunos usos del Biogás

Equipo	Consumo
Estufa	300-600 L/h
Refrigerador 100 L	30 -75 L/h
Lámpara	120 -150 L/h

En el caso de los refrigeradores domésticos el uso de biogás se considera un interesante campo de aplicación directo del biogás, debido a que tienen un consumo uniforme y distribuido a lo largo de las 24 horas del día, lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas.

Con el biogás obtenido, una familia de 5 miembros puede cocinar 2 a 3 comidas, hacer funcionar un refrigerador todo el día o prender una lámpara durante 9 horas seguidas.

4. DIMENSIONAMIENTO DE BIODIGESTOR

El volumen del digestor (VD) se determina a partir del tiempo de retención hidráulica (TR) y la cantidad de sustrato diario introducido (SD).

$$VD [m^3] = TR [días] * SD [m^3 / día]$$

El tiempo de retención viene dado por la temperatura de trabajo del reactor. Para una digestión mesofílica, donde la temperatura varía de 20 a 37 °C, el tiempo de retención hidráulica fluctúa entre 20 y 50 días.

Teniendo en cuenta los datos presentados anteriormente, una familia de 5 miembros en Mexicali genera aproximadamente 2.45 Kg/día de residuos orgánicos. Si se realiza una dilución de 1:4 se obtendría una carga

de 12.11kg/día, el volumen de trabajo del digestor (V_w) es por lo tanto:

$$V_w = (12.11 \text{ kg/día}) (20 \text{ días}) = 242 \text{ kg}$$

Si se considera una densidad de la mezcla de trabajo de 1Kg/L, entonces su volumen es de 242 L. Estableciendo que el volumen de la mezcla es el 80% del volumen total (V_t), se tiene:

$$V_t = \frac{242 \text{ L}}{0.8} = 302 \text{ L}$$

5. CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR

Teniendo en cuenta los resultados de los cálculos, fue construido un biodigestor a escala piloto, que permite cuantificar, observar y analizar el proceso para la obtención de biogás, y así definir cuales condiciones facilitan y optimizan la biodigestión.

Debido a que el volumen teórico del biodigestor fue de 302 L. Se adecuó un tubo de PVC con 22 plg (55.88 cm) de diámetro, como cuerpo del biodigestor, el cual se maquinó a una longitud de 33.45 plg (85 cm), como se muestra en la figura 3, para que así tuviese un volumen semejante al obtenido en los cálculos.



Figura 3. Cuerpo de biodigestor (PVC).

Al cuerpo del biodigestor se le realizaron orificios con roscado para la entrada, salida, muestreo e instrumentación, se roscaron a 1.5 plg (3.81cm) para el sistema de alimentación, muestreo y efluente de biomasa respectivamente, $\frac{3}{4}$ plg (1.90cm) para la incorporación de la instrumentación, y de $\frac{1}{2}$ plg (1.27 cm) para la salida y monitoreo de biogás, por la parte superior, como se presenta en la figura 4.

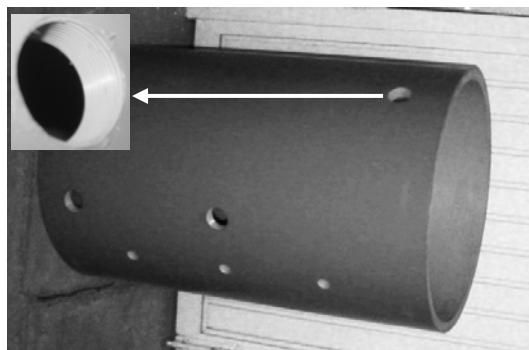


Figura 4. Orificios realizados al cuerpo del Biodigestor

Con PTR cuadrado de 1 plg (2.54 cm) y solera de 1 plg de ancho y $\frac{1}{8}$ plg (0.31cm) de espesor, se construyó una estructura soporte para el tubo maquinado, La estructura final quedo con dimensiones de 24 plg (60.9 cm) de ancho, 53.5 plg de altura y 31.25 plg (79.37 cm) de largo.

En la figura 5a se observa que en la alimentación del biodigestor se adaptó un lavaplatos y se ensambló un triturador de basura para facilitar la preparación y trituración de la carga orgánica.



5a.

5b.

Figura 5. Vista lateral (5a) y frontal (5b) de la planta piloto construida

En los extremos del tubo, se utiliza placas de acrílico de 24x24x1 plg (60.9x60.9x2.54 cm), las cuales permiten observar la digestión anaeróbica y poder controlar ciertos parámetros no deseados en el proceso. Las tuberías para la carga y descarga del biodigestor son de PVC y se incorporo un sistema de calefacción que esta formado por un serpentín de aluminio de 3/8 plg (0.95cm) de diámetro, con espirales de 11 plg (27.94 cm) y longitud de 29.5 plg (74.93cm), como se puede apreciar en la figura 5b.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la potencialidad de generación de biogás se pueden satisfacer las necesidades

de energía térmica del sector residencial, además de evitar al máximo el envío de desechos a los rellenos sanitarios.

Tomando en cuenta los datos obtenidos para la ciudad de Mexicali, una familia de 5 miembros; con la fracción orgánica de los desechos producidos puede llegar a generar 1453 Lt/día de biogás, esta cantidad de gas puede satisfacer las necesidades de consumo para distintas aplicaciones en el hogar. Este dato deberá ser validado con las corridas experimentales de la planta piloto construida.

El Biodigestor diseñado cuenta con las características constructivas y flexibilidad en la operación, como para realizar la caracterización y determinación del potencial de producción de biogás para cualquier tipo de residuos orgánicos.

Para lograr la máxima producción de biogás por tonelada de residuos tratados, es necesario realizar la combinación de residuos optima y una separación minuciosa para retirar las sustancias y objetos no deseables en el biodigestor, los cuales pueden producir problemas en la cinética del proceso.

REFERENCIAS

- Alkalay; D., 1997. Aprovechamiento de desechos agropecuarios para la producción de energía. Memoria Reunión regional sobre biomasa para la producción de energía y alimentos, La Habana, Cuba. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/006/AD098S/AD098S08.htm#ch6.5>.
- Alvarez, M.C., Olguín P.C., Asiain H.A., Alcántar G., Castillo A., 2000. Perspectivas de Biotecnificación de Solares Familiares de las Zonas Bajas Tropicales. Revista TERRA. Chapingo, Texcoco, Estado de México. p. 37-45.
- Angelidaki, I., Ellegaard, L., Ahring, B.K. 1999. A comprehensive model of anaerobic bioconversion of complex substrates to biogas. *Biotechnology and Bioengineering*. 63, 363-372.
- Arvizu F., J. L.; Saldaña F., R.; Miranda M., U., 2002. Potencial energético de la biomasa en México. Memoria XXVI Semana Nacional de Energía Solar, pp. 601-606. Chetumal, Q. Roo, México
- Braun R, Wellinger A., 2003. Potential of Co-digestion. Reporte de la IEA Bioenergy. Disponible en
<http://www.novaenergie.ch/iea-bioenergy-task37/Dokumente/final.PDF>
- Banks CJ. And Wang Z., 1999. Development of two phase anaerobic digester for the treatment of mixed abattoir wastes. *Water Science and Technology*; 40, 69-76.
- FAO. 1996. Biogas Technology: A Training Manual For Extension. Disponible en www.fao.org/docrep/008/ae897e/ae897e00.htm
- Bouallagui H., Cheikh RB., Marouani L., Hamdi M. 2003. Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester. *Bioresource Technology*; 86, 85-89.
- Carrillo, L. 2003. "Rumen y biogás" en *Microbiología Agrícola*. Universidad de Salta. pp. 5.1-5.16.
- Chen, T.H., Hashimoto, A.G. 1996. Effects of pH and substrate: inoculum ratio on batch methane fermentation. *Bioresource Technology*. 56, 179-186.
- Dinsdale, R.M., Premier, G.C., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L. 2000. Two-stage anaerobic codigestion of waste activated sludge and fruit/vegetable waste using inclined tubular digesters. *Bioresource technology*. 72, 159-168..
- Edstroem M., Norberg A., Lennart T. 2003. Anaerobic treatment of animal byproducts from slaughterhouses at laboratory and pilot scale. *Applied Biochemistry and Biotechnology*; 109, 127-138.
- Ferreira, F.; De Lucas, J.; Do Amaral, L.A. 2003. Partial characterization of the polluting load of swine wastewater treated with an integrated biodigestion system. *Bioresource Technology*. 90, 101-108.
- Gerardi, Michael H. 2003. The microbiology of anaerobic digesters. Wiley-Intescience.
- Gunaseelan V. N. 2004. Biochemical methane potential of fruit and vegetable solid waste feedstocks. *Biomass and Bioenergy*; 26, 389-399.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 1998. Reporte del estado ambiental y de los recursos naturales en la frontera norte de México. México.
- Jarauta Rovira, L. 2005. Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos: estudio de las necesidades para la implantación en Perú. Tesis, ETSEIB-UPC.
- Mata-Álvarez J, Mace S, Llabres P. 2000. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*. 74, 3-16.
- Ojeda-Benítez, S., Armijo de Vega, C., Ramirez-Barreto, M. E. 2003. Characterization

- and quantification of household solid wastes in a Mexican city. *Resources Conservation and Recycling*; 39 211-222
- Ojeda-Benítez, S., Armijo de Vega, C., Ramirez-Barreto, M. E. 2006. Gestión de residuos sólidos municipales en Ramírez Hernández Jorge (editor). Una visión de la problemática ambiental de Mexicali y su valle: Elementos para su gestión Editorial Porrúa pp 131-161.
- Ojeda-Benítez, S., Armijo de Vega, C., Ramirez-Barreto, M. E. 2003. Characterization and quantification of household solid wastes in a Mexican city. *Resources Conservation and Recycling*. 39, 211-222
- Ojeda-Benítez, S., Armijo de Vega, C., Ramirez-Barreto, M. E. 2002. Formal and informal recovery of recyclables in Mexicali, Mexico: handling alternatives. *Resources, Conservation and Recycling*, 34, 273-288.
- Soto, M; Mendez, R; Lema, JM. 1993. Methanogenic and non-methanogenic activity tests. Theoretical basis and experimental set up. *Water Research* 27, 1361-1376.
- Rittman, B. E.; McCarthy, P. L. 2001. *Biología del medio ambiente: principios y aplicaciones*. 1ª edición. Ed. McGraw Hill.
- Reichert, G.A. 2005. Aplicação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: uma revisão. En, 23º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, Campo Grande, Brasil.

Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos procedentes de la agroindustria cítrica, para la elaboración de plásticos biodegradables

Alemán-Huerta, María Elizabeth, Salazar-Alpuche Ruby Yarisol, Rojas-Verde, María Guadalupe, Arévalo-Niño, Katiushka.

Instituto de Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, N.L. México C.P. 66450.

Tel/fax 81 83294110 (ext 6415). karevalo@fcb.uanl.mx

Resumen

Se elaboraron películas flexibles a base de residuos lignocelulósicos (provenientes de la industria de extracción de jugo de naranja), pectina y alcohol polivinílico (PVOH), se realizó un estudio de biodegradabilidad tanto a nivel de laboratorio como de campo. Posteriormente se estudió el efecto del PVOH a 5 diferentes concentraciones, en las propiedades mecánicas y de barrera. De igual manera se estudió el efecto del benzoato de sodio en la permeabilidad al vapor de agua de dichas películas. En laboratorio, todas las membranas se mineralizaron después de 306 horas, mientras que en suelo de jardín, una progresiva fragmentación fue observada a partir del día 15 al 60, impidiéndose la recuperación al día 90 de exposición. Los valores más altos de porcentaje de elongación y resistencia a la tensión (10% y 41 MPa), ($P \leq 0.05$) se obtuvieron en la formulación con la mayor concentración de PVOH. La permeabilidad al vapor de agua ($\text{gH}_2\text{O} \cdot \text{h} / \text{mm}^2$ a 25°C después de 7 hrs), disminuyó con la adición de PVOH de 6.15×10^{-6} a 1.64×10^{-6} ($P < 0.05$). La adición del benzoato de sodio, no mostró un efecto significativo en las membranas obtenidas. Las biopelículas, mostraron buenas propiedades mecánicas, que aunque menores que las sintéticas como el polietileno, pueden ser una opción para aplicaciones específicas tales como acolchado o como empaques biodegradables. Finalmente, el uso de materiales renovables es una forma de elaborar productos ambientalmente amigables, principalmente cuando los residuos pueden

aprovecharse sin ningún tratamiento químico previo.

Abstract

Several cast films based on orange peel, pectin and polyvinilic alcohol (PVA), were prepared to study their biodegradability, mechanical and barrier properties. An additional study, was carried to observe the effect of sodium benzoate in the barrier properties. In laboratory, all films were totally mineralized after 306 hours, whereas in soil garden exposure, the films showed progressively fragmentation from 15, 30, 45, 60 days; after 90 days recuperation was not possible. The highest percent elongation and tensile strength ($P \leq 0.05$) were 10% and 41 MPa, respectively, corresponding to the formulation with the highest level of PVA. The water vapor permeability ($\text{gH}_2\text{O} \cdot \text{h} / \text{mm}^2$ at 25°C after 7 hrs) decreased with the PVA addition, from 6.15×10^{-6} to 1.64×10^{-6} ($P < 0.05$). The addition of sodium benzoate, do not showed statistical significance in the permeability results. The cast films based on orange peel showed good mechanical and permeability properties, although less than synthetic plastics as polyethylene; however they can be an option for specific applications like mulching and packaging. By other hand the use of renewable residues is a very important way to produce environmentally friends products, manly without any previous treatment, as in this case.

Palabras Clave -Fibras lignocelulósicas, cáscara de naranja, pectina, películas biodegradables, empaques activos, biodegradación.

I. INTRODUCCIÓN

Los plásticos son moléculas poliméricas de grandes cadenas, elaborados por el hombre. La estabilidad de dichos materiales en el ambiente, así como su nula degradabilidad, ha dado como resultado que sean reconocidos, a escala mundial, como un problema de contaminación ambiental. (Zheng, Y et al, 2005) En Estados Unidos, de las 236 millones de toneladas de residuos sólidos municipales generados en el 2003, el 11.3% correspondía a plásticos; de los cuales únicamente una pequeña porción (principalmente botellas de bebidas) fueron recuperadas. Por lo tanto, la mayoría de los plásticos están siendo acumulados en los rellenos sanitarios. En México, el volumen de residuos sólidos urbanos (RSU) generados en el 2005, fue de 35.3 millones de toneladas, de los cuales, los plásticos ocuparon el 6%, generándose 2 116 000 toneladas. Al mismo tiempo, la generación per cápita diaria de RSU ha ido en aumento (0.843 kg/hab/día en el año 1997 a 0.900 kg/hab/día para el año 2004); así como la proporción de los residuos no biodegradables presentes en los RSU, pasando de un 5% en el año 1950 a un 41%, para el año de 1994. (Poder Ejecutivo Federal,1996)(INEGI; 2000, INEGI 2004).

El empaque de alimentos tiene como objeto conservar la calidad inicial del producto, además de facilitar su manejo, transporte y almacenamiento. La permeabilidad al vapor de agua de los materiales de envase, es importante para aquellos alimentos que tienden a ganar o perder humedad. Si no se selecciona el material adecuado, el alimento se deteriorará por razones de textura principalmente. La conformidad con las normas ambientales y manejo de los desechos sólidos, es uno de los factores más significativos que empujan a la industria a la sosten-

tabilidad. Por otra parte, el empaque sostenible comienza con la selección de los materiales para dicho empaque y una actitud de rechazo hacia aquellos no renovables, y de adopción de los que son reciclables. Esta selección de material involucra un análisis de los impactos potenciales sobre el medio ambiente, sobre la salud y la seguridad pública (Sterling, S. 2006). Los plásticos biodegradables han sido propuestos como una parte de la solución a la crisis de los rellenos sanitarios, especialmente para uso en ciertas aplicaciones como empaques desechables para alimentos, pañales, materiales médicos, etc. (McCarthy, 1992). Entre los principales biopolímeros utilizados para la elaboración de películas se encuentran el almidón, la celulosa, la pectina, el quitosán, las proteínas como la caseína, el ácido poliláctico y los polihidroxialcanoatos (No et al, 2000). La celulosa es el polímero más abundante en la naturaleza y constituye la principal unidad estructural de las plantas (Brown, 1998). La pectina es el principal componente de la lamela media y de la pared celular del tejido de las plantas superiores (Hoagland, 1996). El PVOH es un polímero sintético, soluble, inocuo con buenas propiedades de biocompatibilidad, que ha sido utilizado para mejorar las propiedades mecánicas de películas (Coffin, 1995, Mangala, 2003, Chatterjee, 2004). Entre los materiales y compuestos que tienen beneficios económicos y ambientales para aplicaciones en automóviles, construcciones, muebles, industria del embalaje, etc., las fibras de desechos agroindustriales son utilizadas por su bajo costo, baja densidad, naturaleza no abrasiva, disponibilidad en la naturaleza y biodegradabilidad. Algunas fibras propuestas para la elaboración de películas son el bagazo de caña, fibras de maíz, fibras de

trigo, cáscara de manzana, etc. (Chiellini, 2004). México es considerado uno de los principales productores de cítricos a nivel mundial. En el 2005 la producción nacional fue de 2 102 764 ton (INEGI, 2006). El principal uso de este producto se destina a la industria juguera. Una parte de sus desechos es destinada a la producción de forraje y a la extracción de aceite esencial, mientras que el resto se airea o quema para evitar que se fermente. Considerándose esto último como una fuente de contaminación del entorno ecológico.

Por todo esto, la utilización de estos desechos para la elaboración de nuevos productos se convierte en un importante reto no sólo ambiental y tecnológico sino de apoyo a los programas y políticas de sustentabilidad del país.

II. MATERIAL Y METODO

2.1 Elaboración de las películas. Se utilizó cáscara de naranja molida y seca, proveniente de una industria de extracción de jugo, ubicada en la Cd. de Monterrey, N.L. El PVOH, (AIRVOL* 205) utilizado fue marca *Air Products and Chemical*, la pectina de cítricos fue obtenida comercialmente. Se prepararon diversas formulaciones (Tabla 1) disolviendo en agua destilada cada uno de los polímeros, para posteriormente vaciar y moldear (casting) en placas de vidrio y colocar a 23°C por 24 horas, posteriormente se recuperaron las películas de forma manual y se acondicionaron a 23°C y 50% de humedad relativa para sus análisis posteriores.

Tabla 1. Composición química de las formulaciones evaluadas

Formulación	Materiales (%)		
	F.L.	Pectina	PVOH
I	48.1	48.1	3.6
II	44.4	44.1	11.1
III	36.3	36.3	27.2
IV	30.7	30.7	38.4
V	26.6	26.6	46.6
Control	50	50	0

F.L. fibras lignocelulósicas

2.2 Biodegradabilidad. Se colocaron 0.5 g de la película (F-I) en frascos de vidrio conteniendo 50 g de composta cuya humedad y pH eran 50% y 6.8-7.2, respectivamente, los frascos estaban conectados a detectores electrónicos y registradores analíticos tanto para CO₂, como para el Oxígeno, a una temperatura de 20°C. Se utilizó un Respirómetro Columbus Instruments Micro-Oxymax v6.05, programándose el equipo para realizar mediciones de ambos gases por intervalos de 6 horas y una duración total del experimento de 340 horas. Se evaluó la biodegradabilidad en suelo de jardín, colocando tiras de 10 x 2 cm entre rejillas de plástico para su soporte (Arévalo, 1997). Se introdujeron en pozos de 30 cm de profundidad, las muestras se colectaron cada 15 días durante cuatro meses.

2.3 Pruebas fisicomecánicas. Se cortaron tiras de 2 x 10 cm de cada una de las películas, y se midió el espesor en 5 diferentes puntos con un Digimatic Micrometer Mitutoyo 293. Las pruebas fisicomecánicas (% Elongación y Resistencia a la tensión), fueron realizadas según la Norma ASTM D 882, en un Electronic Tester Modelo QC II-XS, se utilizó una mordaza de 20 mm de longitud, una distancia entre las mordazas de 20 mm y una velocidad de cabezal de 20 mm/min.

2.4 Propiedades de Barrera: Rango de Transmisión de Agua.

Para medir las propiedades de barrera de las películas, se utilizó el método ASTM E96-95 gravimétrico, con una modificación. Se cortaron tiras de 3 x 3 cm de las películas correspondiente a cada una de las formulaciones, y se midió el espesor como se describió anteriormente; posteriormente fueron colocadas en la parte superior para sellar herméticamente las cápsulas de plástico, que contenían 2 g de Cloruro de Calcio como agente higroscópico, las cápsulas fueron pesadas (Pi) y colocadas dentro de un desecador de vidrio el cual contenía una solución sobresaturada de Nitrato de Magnesio (sistema saturado de humedad), 7 h después se retiraron del desecador y se pesaron (Pf). El paso de vapor de agua a través de la película produce un aumento de peso el cual es expresado como gramos de H₂O por mm² por unidad de tiempo (gH₂O/mm²/h). Cada experimento se realizó por triplicado.

2.5 Elaboración de empaques activos. Partiendo de la formulación V, se elaboraron diferentes formulaciones (Tabla 4) con los residuos lignocelulósicos, pectina y PVOH, adicionando además benzoato de sodio, como agente antimicrobiano. Se midió grosor de las películas y se determinó el Rango de Transmisión al Agua de cada una de ellas, mediante el método anteriormente descrito.

III. RESULTADOS

En la prueba de biodegradación realizada en suelo de jardín, se observó fragmentación de las películas a partir de los quince días y progresivamente a los 30, 45 y 60 días para todas las muestras no pudiendo ser recuperadas a los 90 días, excepto el control (polietileno de baja densidad, PEBD), el cual no se observó pérdida de su estructura.

Las condiciones de prueba fueron: temperatura promedio de 25-35°C, un pH de 5.8 y humedad de suelo de 21%. Al someter las diferentes películas a la prueba de respirometría, se encontró que las formulaciones se degradan en un 100% en un lapso no mayor a 306 horas (menos de quince días), presentando una velocidad de producción de CO₂ máxima, de 5 ml CO₂/h, a las primeras 17 h de iniciada la prueba (Fig. 2).

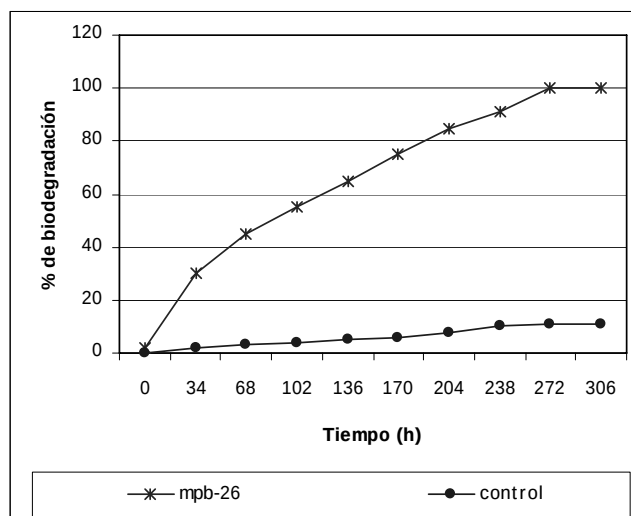


Fig. 1 Biodegradabilidad de las películas en estudio

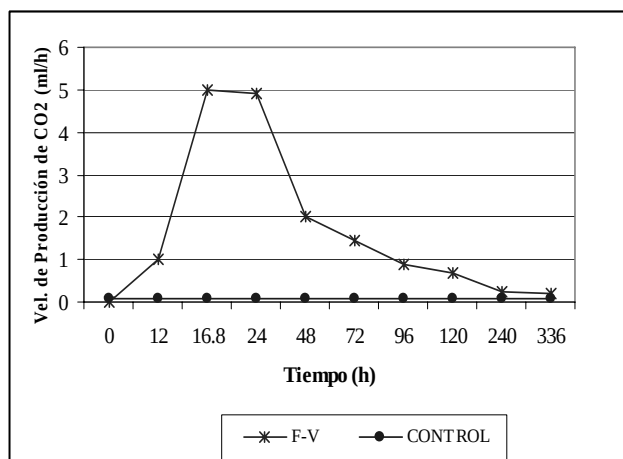


Fig. 2 Producción de CO₂ de las películas en estudio, en el respirómetro

Los valores de porcentaje de elongación encontrados en las diferentes formulaciones fluctuaron entre 2.83 y 10.76%. La formulación V fue diferente del resto ($p < 0.05$), arrojando la prueba de Tuckey 2 grupos de homogeneidad. Al incrementar los niveles de concentración de PVOH se observó un incremento en el porcentaje de elongación, sin embargo en la formulación Control, I, II, III y IV no se observó diferencia significativa (Tabla 2). El efecto de la concentración de PVOH en los valores de elongación es notorio a partir de una concentración de 46.6% de este componente. Las películas presentaron valores de tensión que fluctuaron entre 13.76 y 39.46 Mpa. El valor mas bajo de tensión lo presentó la formulación control, mientras que el valor mas alto lo presentó la formulación V, siendo esta última la formulación con mayor concentración de PVOH. Esto sugiere que al incrementar los niveles de concentración de éste polímero, los valores de tensión se incrementan (Tabla 2).

1.1.1 El espesor de las biopelículas fluctuó entre $8.52E^{-02}$ y $9.43E^{-02}$ mm (Tabla 2), presentándose una diferencia significativa de este parámetro entre las diferentes formu-

laciones ($p < 0.05$). Las formulaciones que presentaron mayor espesor fueron las que tenían mayor concentración de PVOH, correspondientes a las formulaciones IV y V, con valores de $9.15E^{-02}$ y $9.43E^{-02}$ mm respectivamente. Las formulaciones Control, I, II y III, presentaron valores similares entre $8.52E^{-02}$ y $8.96E^{-02}$ mm.

El rango de transmisión al vapor de agua de las biopelículas fluctuó entre $6.15E^{-06}$ y $1.64E^{-06}$ g H₂O/mm²/h (Tabla 3). Éstos valores corresponden al Control y a la formulación V respectivamente. La formulación IV y V presentaron los menores rangos de permeabilidad con $2.24E^{-06}$ y $1.64E^{-06}$ g H₂O/mm²/h, respectivamente. El valor mas alto lo presentó el Control y fue de $6.15E^{-06}$ g H₂O/mm²/h. Se observa que este parámetro disminuye conforme la concentración de PVA se incrementa (Tabla 3).

Tabla 2. Propiedades fisicomecánicas de las películas en estudio*

Form.	Resistencia a la tensión (MPa)	Elongación (%)	Espesor (mm)
I	21.7 $\pm$ 2.1ab	3.95 $\pm$ 0.1a	8.5E ⁻² $\pm$ 2.2E ⁻³ a
II	20.7 $\pm$ 1.3ab	3.66 $\pm$ 0.2a	8.6E ⁻² $\pm$ 1.2E ⁻³ a
III	20.3 $\pm$ 4.3ab	2.83 $\pm$ 0.2a	8.5E ⁻² $\pm$ 1.7E ⁻⁴ a
IV	22.3 $\pm$ 1.2b	6.43 $\pm$ 0.6a	9.1E ⁻² $\pm$ 2.2E ⁻³ b
V	39.4 $\pm$ 4.9c	10.76 $\pm$ 2.6b	9.4E ⁻² $\pm$ 1.6E ⁻³ b
Control	13.7 $\pm$ 2.3a	3.5 $\pm$ 1.1a	8.52E ⁻² $\pm$ 6E ⁻⁴ a

*Los valores representan la media $\pm$ desviación estándar de las determinaciones, por triplicado.

Las comparaciones entre tratamientos se hacen dentro de la misma columna. Valores seguidos por letras minúsculas diferentes son significativamente diferentes $P < 0.05$

Tabla 3. Permeabilidad (Rango de Transmisión de Agua) de las películas en estudio*

Form.	RT (gH ₂ O/hmm ²)	Espesor (mm)
I	2.92E ⁻⁶ ±4.5E ⁻⁸ b	8.72E ⁻² ±6.0E ⁻⁴ b
II	3.77E ⁻⁶ ±5.9E ⁻⁸ bc	8.49E ⁻² ±2.3E ⁻⁴ a
III	2.83E ⁻⁶ ±1.02E ⁻⁷ bc	8.64E ⁻² ±2.0E ⁻⁴ ab
IV	2.24E ⁻⁶ ±8.5E ⁻⁸ cd	8.99E ⁻² ±4.1E ⁻⁴ c
V	1.64E ⁻⁶ ±3.7E ⁻⁷ d	9.53E ⁻² ±1.3E ⁻³ d
Control	6.15E ⁻⁶ ±7.6E ⁻⁷ a	8.49E ⁻² ±8.0E ⁻⁴ a

*Los valores representan la media ± desviación estándar de las determinaciones, por triplicado.

Las comparaciones entre tratamientos se hacen dentro de la misma columna. Valores seguidos por letras minúsculas diferentes son significativamente diferentes P< 0.05

Tabla 4. Composición química de los empaques activos elaborados

Form	F.L.		Materiales (%)		
	C.L.	C.N.	Pect-ina	PVOH	Ben-zoato
CN-O	0	26.6	26.6	46.6	0
CN-1	0	26.3	26.3	46.1	1.12
CN-2	0	26.08	26.08	45.6	2.2
CL-O	26.6	0	26.6	46.6	0
CL-1	26.3	0	26.3	46.1	1.12
CL-2	26.08	0	26.08	45.6	2.2

F.L. fibras linocelulósicas, C.L. Cáscara de naranja, C.N. Cáscara de limón.

Tabla 5. Espesor y Permeabilidad (Rango de Transmisión de Agua) de los empaques activos

Formula ción	Propiedades mecánicas y de barrera	
	Espesor (mm)	RT (gH ₂ O/hmm ²)
CN-O	0.100933±1.62E ⁻⁰³	2.43E ⁻⁰⁵ ±4.58E ⁻⁰⁸ ab
CN-1	9.88000E ⁻² ±2.086E ⁻⁰³	3.67E ⁻⁰⁵ ±5.9E ⁻⁰⁷ b
CN-2	8.83333E ⁻² ±1.203E ⁻⁰²	3.18E ⁻⁰⁵ ±1.021E ⁻⁰⁷ b
CL-O	9.37333E ⁻² ±7.571E ⁻⁰⁴	1.26E ⁻⁰⁶ ±8.50E ⁻⁰⁸ a
CL-1	9.20667E ⁻² ±1.62E ⁻⁰³	1.74E ⁻⁰⁶ ±3.744E ⁻⁰⁷ a
CL-2	9.800E ⁻² ±2.08806E ⁻⁰³	2.07E ⁻⁰⁶ ±7.677E ⁻⁰⁷ a

*Los valores representan la media ± desviación estándar de las determinaciones, por triplicado.

Las comparaciones entre tratamientos se hacen dentro de la misma columna. Valores seguidos por letras minúsculas diferentes son significativamente diferentes P< 0.05

En los empaques activos elaborados, se aprecia que la permeabilidad es menor cuando se utiliza cáscara de limón, como fuente de fibras linocelulósicas (P<0.05), y el incremento de la concentración de benzoato de sodio no mostró un efecto significativo en los valores de permeabilidad, tanto en las películas con cáscara de naranja como en las elaboradas con cáscara de limón (Tabla 4 y 5).

IV. DISCUSION

La biodegradabilidad presentada por las películas en estudio, se asemeja a lo encontrado por Dalev y colaboradores, en el 2000, comprobando la degradabilidad de películas elaboradas a base de gelatina, completándose la biodegradación en un lapso de 10 días para las muestras expuestas a suelo sin esterilizar, mientras que para las muestras introducidas en suelo esterilizado a 125°C por 6 horas, no se observaron cambios en la morfología de las películas. Otros factores tales como la acción mecánica, el viento y la lluvia pueden deteriorar los polímeros. El nivel de degradación que sufra el polímero, dependerá del ambiente en el cual éste halla sido depositado, así como del tipo de polímero de que se trate (Wool, 2000).

La velocidad de degradación puede ser atribuido a la presencia de glicerol, el cual se ha reportado como un agente plastificante y que además es capaz de reblandecer el plástico y colocar de manera más disponible los polímeros y componentes en una formulación. La velocidad ó tasa de degradación varía con los componentes de las formulaciones y en las condiciones del medio, el alcohol polivinílico se considera biodegradable aunque su biodegradación es lenta en suelo ó composta, mientras que en medio acuoso y con la presencia de poblaciones

microbianas adaptadas es extremadamente más rápida (Solaro *et al.*, 1998). El rango de elasticidad que pueden presentar diversas películas es muy amplio ya que la adición de un plastificante reduce las interacciones cadena-cadena de los polímeros dando como resultado un incremento en la movilidad de las mismas e incrementando la flexibilidad en las películas (Rayas, 1997, Cunningham, 2000, Stuchell, 1994). Diversos estudios reportan que el PVOH hace que las películas sufran un cambio de quebradizo a dúctil al incrementar los niveles de concentración de este polímero, además, la adición de glicerol como plastificante incrementa esta ductilidad/flexibilidad, dando como resultado mejores propiedades físico-mecánicas en las películas (Fishman 1998, Coffin 1995). Comparado con otros estudios Mangala, 2003, reporta valores de %E de 10.55% en películas de quitosán y en películas quitosán/PVOH valores superiores de 216.2%, incrementándose altamente estos valores al adicionarle el PVOH. Por otro lado en películas elaboradas con proteína de soya se reportan valores de elongación de 10.2 a 16.8%, siendo estos valores más altos comparados con este estudio debido a que a las películas contenían mayor cantidad de plastificante (Pérez, 1999; Stuchell, 1994).

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con lo reportado en la literatura por Fishman, 1998, donde refiere que la adición de PVOH incrementa la fuerza de tensión en películas elaboradas a base de pectina. Las fibras de PVOH poseen altas propiedades de fuerza y resistencia y al mezclarse con otros componentes ayuda a mejorar sus propiedades. En estudios de películas elaboradas con Quitosán se reportan valores de tensión de 23.54 Nw, los

cuales se incrementan a 50.65Nw en películas quitosán/PVOH (Mangala, 2003). Cuanto mayor sea el numero de entrecruzamientos de un polímero, más rígido será el material, limitandose los movimientos entre las cadenas poliméricas, presentando por lo mismo valores de resistencia a la tensión altos (Brown, 1998).

En lo que respecta a los valores de espesor encontrados en el presente estudio, las películas que contenían mayor concentración de PVA presentaron mayor espesor. Esto concuerda con lo reportado en la literatura por Miranda, 2003, donde refiere que el espesor de las películas se incrementa cuando se le adiciona mayor concentración de algún aditivo.

Las propiedades físico mecánicas determinadas a las diferentes formulaciones elaboradas en el presente estudio, como lo son elongación, resistencia a la tensión y grosor, son útiles para conocer el nivel de desempeño que los plásticos pudiesen tener en una aplicación determinada. La resistencia a la tensión es la característica más común utilizada para expresar la fuerza y ductilidad de los plásticos y metales (Han and Flores, 1997); y dependiendo de las características que presenten los plásticos elaborados serán las posibles aplicaciones, ya sea en el área comercial, industrial, agrícola, etc.

Hay diversos factores que afectan la permeabilidad en las biopelículas, entre dichos factores se encuentran: la adición de plastificantes, la morfología de las películas, características de las moléculas, interacciones en las cadenas poliméricas y entrecruzamientos. En el caso de los plastificantes la permeabilidad se incrementa debido a que éstos compuestos reducen las interacciones cadena-cadena de los polímeros, dando como resultado un incremento en la movilidad

de las cadenas de los polímeros y haciendo las películas más flexibles, como las cadenas poliméricas se encuentran mas relajadas hay mayor permeabilidad a los gases (Sothornvit, 2000). Por otro lado Stuchell, 1994, reporta que los entrecruzamientos de los polímeros sintéticos disminuyen la permeabilidad al vapor de agua. Como se mencionó anteriormente el PVOH tiene la capacidad de formar este tipo de enlaces, los cuales limitan los movimientos de las cadenas poliméricas, disminuyendo así la permeabilidad (Brown, 1998). Uno de los parámetros importantes en el estudio de las propiedades de barrera de las películas es el espesor, el cual tiene una influencia directa en el desempeño de las mismas, ya que a mayor espesor menor permeabilidad (Feldman, 2001). Por lo cual es probable que este parámetro este influyendo también en disminuir la permeabilidad en las películas de las formulaciones IV y V. El incrementar la concentración de PVOH en las formulaciones, incrementa el número de entrecruzamientos en las películas pero además incrementa el espesor, por lo cual, ambos factores, tanto la formación de este tipo de enlaces y el espesor disminuyen la permeabilidad al vapor de agua, obteniendo películas consideradas de mejor barrera (Soto 1998).

La diferencia en las propiedades de barrera, observada entre las películas elaboradas con fibras lignocelulósicas de naranja y las elaboradas con fibras provenientes de cáscara de limón, puede atribuirse, a la distribución de las partículas que forman la película (Perez-Gago y Krochta, 2000), ya que se pudo observar una apariencia mas homogénea en aquellas elaboradas con cáscara de limón, en comparación con las de naran-

ja, siendo éstas últimas de consistencia más rugosa.

V. SUMARIO Y CONCLUSIONES

Las ventajas de utilizar un plástico biodegradable en la aplicación de sistemas tanto de acolchado ó en el área de empaques, consisten no únicamente en el impacto ambiental positivo al contar con materiales que pueden reincorporarse al ecosistema, sino también, en la reducción en los costos que implican la recolección y disposición final de los residuos plásticos sintéticos ya sea de los campos de cultivo, ó los correspondientes al manejo de los residuos sólidos municipales.

Fue posible elaborar películas biodegradables a base de residuos lignocelulósicos provenientes de la industria de extracción de jugo, sin ningún tratamiento químico previo. Comprobándose su biodegradabilidad tanto a nivel de campo (fragmentación) como a nivel laboratorio.

Se observó que el PVOH mejoró las propiedades tanto mecánicas, como de barrera.

Se logró la incorporación de un agente antimicrobiano (benzoato de sodio) para la elaboración de empaques activos biodegradables, encontrando que no tuvo efecto en la permeabilidad al vapor de agua, tanto de películas elaboradas con residuos lignocelulósicos de naranja, como los provenientes de cáscara de limón, siendo éstas últimas las que presentaron mejores propiedades de barrera a la humedad.

Las propiedades presentadas por las películas, son comparables a las de otros plásticos elaborados con polímeros naturales y aunque menores que las de los sintéticos, pueden ser propuestos para ciertas aplicaciones

específicas como acolchado o recubrimientos alimenticios.

En lo que se encuentran nuevas formulaciones biodegradables, que cumplan tanto con los requerimientos de desempeño, comercialización y factibilidad, debemos revalorar la aplicación, uso y disposición final de los plásticos sintéticos, que hasta el momento, satisfacen ampliamente las necesidades de la vida moderna y cuyo origen son recursos no renovables.

VI. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por proporcionar la infraestructura necesaria para la elaboración del presente trabajo.

Al USDA, por las facilidades otorgadas para la realización de los estudios de respirometría.

VII. REFERENCIAS

- Arévalo, N.K. 1996. Elaboración de Plásticos Biodegradables a Partir de Polisacáridos y su Estudio de Biodegradabilidad a Nivel Laboratorio y Campo. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. 205p.
- Brown, Lemay, Bursten. 1998. Química de la Ciencia Central. Editorial Prentice may. 7ª edición. México. 428-432.
- Coffin, R.D., Fishman, M.L., and Ly, T.V. 1995. Termomechanical Properties of Blends of Pectin and Poly (vinyl alcohol). Journal Applied Polymer Science. 61:71-79.
- Cunningham, P., Ogale, A., Dawson, P., Acton, J. 2000. Tensile Properties of Soy Protein Isolate Films Produced by a Thermal Compaction Technique. Journal of Food Science 4: 668-671.
- Chatterjee, J., Haik Y. and Chen, A.J. 2004. A Biocompatible Magnetic Film: Syntesis and Characterization. BioMagnetic Research and Technology 2:2.
- Chiellini, E., Cinelli P., Chiellini, F. and Imam SH. 2004. Environmentally Degradable Bio-Based Polymeric Blends and Composites. Macromol Biosci. 15; 4(3):218-231.
- Dalev, P., Patil, R, Mark J, Vassileva, E., Fakirov, S. 2000. Biodegradation of Chemically Modified Gelatin Films In Soil. Journal of Applied Polymer Science 78: 1341-1347.
- Feldman, D. 2001. Polymers Barrier Films. Journal of Polymers and the Environment. Vol. 9, No. 2; 49-55.
- Fishman, M.L., Coffin D.R., Konstance, R.P. and Onwulata, C.I. 1998. Mechanical, Microestructural and Solubility Properties of Pectin/Poly (vinyl alcohol) Blends. Journal of Carbohydrate Polymers, 35: 195-203.
- Han, J.H., Floros JD. 1997. Casting Antimicrobial Packaging Films and Measuring Their Physical Properties and Antimicrobial Activity.
- Hoagland, P.D. and Parris N. 1996. Chitosan/pectin laminated films. Journal of Agriculture Food and Chemistry, 44:1915-1919.
- INEGI, 2000. Estadísticas del Medio Ambiente, México 1999. Disponible en el sitio de red:
<http://www.inegi.gob.mx/difusion/espanol/acercamexico/acermex.html> [Revisado el 4 de Marzo de 2002].
- Mangala, E., Suresh, K.T., Baskarand, S. and Panduranga, R.K. 2003. Development of Chitosan/PVA Blends Membranes as Burn Dressing. Trends Biomater Artif. Organs. Vol 14 (1):34-40.
- Miranda, S.P., Cárdenas, G., López, D. y Lara S. 2003. Comportamiento de Películas de Quitosán Compuesto en un Modelo de Almacenamiento De Aguacate. Revista de la Sociedad Química de México, Vol. 47. Num. 4: 331-336.
- McCarthy, S., Gada, M., Smith, G., Tolland, V., Press, B., Eberiel, D., Bruell, C, Gross, R. 1992. The Accelerated Biodegradability of Plastic Materials in Simulated Compost and Landfill Environments. ANTEC '92 816-817.
- No, H.K., Lee, K.S., Meyers, S.P. 2000. Correlation Between Physicochemical Characteristics and Binding Capacities of Chitosan Products. Journal of Food Science. 65: 1134-1137.
- Pérez, G.M. and Krochta, J.M. 2000. Drying Temperature Effect on Water Vapor Permeability and Mechanical Properties of Whey Protein-lipid Emulsion Films. Jour. of Agric. Food. Chem. 48:2687-2692.

- Poder Ejecutivo Federal. 1996. Programa de Medio Ambiente 1995-2000. SEMARNAP. México, D.F. 46-47.
- Rayas, L., Hernández, R., Perry, K. 1997. Development and Characterization of Biodegradable/Edible Wheat Protein Films. *Journal of Food Science* 62:160-163.
- Solaro, R., Corti, A., Chiellini, E. 1998. A New Respirometric Test Simulating Soil Burial Conditions for the Evaluation of Polymer Biodegradation. *Journal of Environmental Polymer Degradation*. 6:203-208.
- Sothornvit, R., Krochta, J. 2000. Water Vapor Permeability and Solubility of Films Hydrolyzed Whey Protein. *Journal of Food Science*. 4: 700-703.
- Soto, V.H., Mendoza, W.A., Higuera, C.I., Nieblas, J.M. 1998. Técnicas de Investigación de Envases de Alimentos. Manual de Prácticas. Programa de Posgrado en Ciencias. 33p.
- Sterling, S. 2006. Abraza las Promesas del Empaque Sostenible. *El Empaque* Vol. 12 No. 2 p. 8-12.
- Stuchell, Y.M., Krochta, J.M. 1994. Enzymatic Treatment and Thermal Effects on Edible Soy Protein Films. *Journal of Food Science* 59:1332-1336.
- Wool, R., Raghavan, D., Wagner, G., Billieux, S. 2000. Biodegradation Dynamics of Polymer-Starch composites. *Journal of Applied Polymer Science* 7: 1643-1657.
- Zheng, Y., Yanful, E.K. and Bassi, A.S., 2005. A Review of Plastic Waste Biodegradation. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25 243-250.

Evaluación de la materia orgánica soluble durante el proceso de vermicomposteo

Pedro DEL AGUILA, Jorge LUGO, Rocio VACA, Laura M. ARELLANO y Yazmin OLMEDO.
LAB. de Edafología y Ambiente. Fac. de Ciencias UAEMex. Instituto Literario 100. Toluca 50 000.

Abstract

RESUMEN

En el proceso de vermicomposteo están presentes ciertas variedades de sustancias orgánicas, donde la materia orgánica soluble (MOS) y ácidos húmicos participan para favorecer condiciones físicas y químicas del suelo, por ejemplo, las sustancias húmicas modifican su estructura y el nivel de su fertilidad. Por lo que en este trabajo se estudiaron los cambios en la MOS materia orgánica, pH y capacidad de intercambio catiónico durante el proceso de vermicomposteo. Se trabajó en 4 tiempos (15, 30, 45 y 60 días) durante el proceso de vermicomposteo y posterior a esto; se realizó la extracción de la materia orgánica libre (MOL) y la MOS. La MOL presentó un comportamiento similar durante el proceso de vermicomposteo; por otra parte y de acuerdo a la relación E_4/E_6 , la MOS presentó mayor grado de asociación aromática en los primeros días del vermicomposteo (15, 30 y 45 días) lo que indica un mayor grado de humificación. Con respecto a la parte final del proceso (60 días) se observó menor complejidad en las moléculas y menor grado de humificación. Las gráficas obtenidas del infrarrojo (IR) muestran varios grupos funcionales de la materia orgánica. Las densidades ópticas relativas (DOR) de la MOS presentaron una predominancia alifática.

Palabras claves: composteo, lombriz de tierra, infrarrojo, biosólidos

In the vermicompost process there are a great diversity of organic substances, where the dissolved organic matter (MOS) and humic acids, participate in physics and chemistry process of soil, for example, the humics substances modify the soil structure and fertility. In this research the objective was to study the changes in the MOS, organic matter content, pH and, cationic interchange capacity during the vermicompost process. This study was carried out on for 4 times (15, 30, 45 and 60 days) in the vermicompost process. The free organic matter (MOL) and the MOS were extracted. The MOL was similar during the vermicompost process; by other hand, the relation E_4/E_6 for the MOS, in the first days the vermicompost process (15, 30 and 40 days) show high association in aromatic compounds, and more high level of humification. In the end of the process (60 days) the vermicompost showed less complexity in the molecules and less level of humification.

The IR graphics, showed some bands on the functional groups of the organic matter. The optical relative densities (DOR) from MOS showed an aliphatic predominance.

INTRODUCCIÓN

El vermicomposteo se considera un proceso biooxidativo de residuos orgánicos en condiciones controladas de humedad, temperatura, aireación e involucra a la lombriz de tierra (Kale *et al.*, 1992; Martínez *et al.*, 2003).

La composición del humus derivado de la lombriz, se muestra en la **Tabla 1**, aquí se observan los valores promedio de los parámetros que se deben de considerarse durante el proceso.

Tabla 1. Composición del humus de lombriz (Capistran *et al.*, 2001)

Humedad	30-60%
pH	6.8-7.2
N	1-2.6%
P	2-8%
K	1-2.5%
Ca	2-8%
Mg	1-2.5%
Materia orgánica	30-70%
Carbono orgánico	14-30%
Ácidos fúlvicos	14-30%
Ácidos húmicos	2.8-5.8%
Na	0.02%
Cu	0.05%
Fe	0.02%
Mn	0.006%
Relación C/N	10-11%

La lombriz de tierra al alimentarse de residuos orgánicos, los fragmenta por lo que incrementa la actividad microbiana, así como, los índices de descomposición y de la mineralización de los residuos orgánicos. La lombriz modifica la MO, provocando un efecto de composteo o humificación mediante el cual la materia orgánica (MO) inestable es oxidada y estabilizada (Atiyeh *et al.*, 2000; Soto y Muñoz, 2002).

La materia orgánica libre (MOL) es considerada como la hojarasca fresca depositada en el suelo, la cual se descompone de manera rápida y en general, se divide mecánicamente, o es enterrada en los horizontes minerales por la actividad de los organismos y atacada muy rápidamente por las bacterias y hongos del suelo (Duchaufour, 1984).

El estudio de la materia orgánica soluble (MOS) es muy importante debido al gran número de sitios que presenta para formar complejos de diferente fuerza química, por lo que juega un papel fundamental en la movilización, inmovilización y transporte de los contaminantes, además de que, interactúa intensivamente con las superficies minerales alterando sus características (Sanders y McGrath, 1988; Calace *et al.*, 2001).

Durante la humificación, proceso final de la degradación de la materia orgánica, da lugar al paso de sustancias húmicas, que son los constituyentes principales del suelo, estos se forman por degradación química y enzimática de los residuos de plantas, animales y por la actividad de microorganismos; estas sustancias húmicas, son una mezcla compleja de sustancias orgánicas que son separadas usualmente en tres fracciones basadas en su solubilidad acuosa y son: (1) ácidos húmicos, (2) ácidos fúlvicos y (3) las huminas (Porta *et al.*, 1999; Kochany y Smith, 2001).

La caracterización de los ácidos húmicos se puede llevar a cabo mediante el empleo de valores de absorbancia de densidades ópticas a 465 nm (E4) y 665 nm (E6) (Kumada y Sato, 1980). Chen y colaboradores en 1977 observaron que la relación E4/E6 esta inversamente relacionado con el tamaño, peso molecular y grado de asociación entre las moléculas

de las sustancias húmicas, pudiendo considerarse como un indicador del grado de complejidad. Igualmente la espectrofotometría de infrarrojo, permite conocer de una manera semicuantitativa los grupos funcionales de la materia orgánica en el rango de 4000-400 cm^{-1} .

El propósito de este estudio fue monitorear y evaluar los parámetros pH, MO y CIC, así como la evolución de la materia orgánica soluble y ácidos húmicos durante el proceso de vermicomposteo utilizando residuo orgánico de tipo agrícola (estiércol de ganado vacuno) para conocer el grado de madurez de la vermicomposta.

MATERIALES Y METODOS

Se trabajó con cuatro tiempos (15, 30, 45 y 60 días) durante el proceso de vermicomposteo, utilizando en el proceso de composteo a la lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) tomando muestreos en cada tiempo. Las muestras se secaron, molieron, tamizaron y posterior a esto se determinó el pH empleando la Norma (AS-11-1997) con un potenciómetro Corning modelo 340, al que previamente se ajustó el pH, utilizando patrones de referencia de 4 y 7. Para la materia orgánica se empleo la Norma AS-14-1997, bajo la técnica según Wakley y Black modificada (1947). Capacidad de intercambio catiónico, se empleo la Norma AS-20-199.

La extracción y caracterización de la MOS se realizó siguiendo el método propuesto por ... y los ácidos húmicos por el método propuesto por Duchaufour y Jacquin (1975). Los espectros infrarrojos (IR) se obtuvieron digitalmente mediante la transformada de Fourier en el rango de 4000 a 400 cm^{-1} , utilizando un espectrofotómetro marca Bruker modelo IFS28, además se determinaron las

absorbancias a 465 y 665 nm y con esto la relación E4/E6.

RESULTADOS

Como se puede observar en la **Tabla 2** el pH durante el proceso de vermicomposteo tendió a decrecer: al tiempo de 15 días el pH presentó un valor máximo de 7.48 y un valor mínimo de 7.27 a los 60 días. Estudios de Atiyeh y colaboradores (2001), encontraron que el pH en la vermicomposta utilizando estiércol de puerco fue de 5.8, pero estudios de Delgado y colaboradores (2004) indican que el pH en una vermicomposta cambio de 5.2 al inicio y termino en un pH de 7.2 como consecuencia de la degradación de ácidos orgánicos y el efecto amortiguador de la MO.

Con respecto a la D_{pH} ($\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) que se representa como un valor negativo, se observa que a los 30 días se presentó la mayor carga negativa con respecto a los otros tiempos, esta decreció a medida que terminó el proceso de vermicomposteo, posiblemente en este tiempo se incremento la aparición de radicales libres de los grupos funcionales fenólicos y alcohólicos que tienen radicales OH libres (Piccolo, 2002).

Tabla 2. Análisis químico de la vermicomposta

Tiempo (días)	pH_{KCl}	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	D_{pH}
15	6.94	7.48	-0.54
30	6.66	7.40	-0.74
45	6.81	7.22	-0.41
60	6.86	7.27	-0.41

El análisis de la MO se muestra en la **tabla 3**. Se puede observar que tiene diferencias significativas [$F= 177.5$, $p<0.01$], el mayor contenido de MO se dio a los 30 días, presentando un valor de 29.5% y el menor

a los 60 días siendo de 14.4%. Estudios de Capistran y colaboradores (2001) reportan un contenido de MO mayor al 30%. Mientras que Atiyeh y colaboradores (2001) encontraron que el contenido de MO en vermicomposta utilizando estiércol de puerco fue de un 27.1% de MO. Valores reportados por Porta y colaboradores (1999) indican que el contenido de MO determinado esta dentro de la categoría aprovechable para la planta.

Tabla 3. Prueba de Tukey de la MO y CIC durante el proceso de vermicomposteo

Tiempo (días)	MO (%)	CIC (cmol Kg ⁻¹)
15	21.7 ^B	29.7 ^A
30	29.5 ^C	38.9 ^B
45	22.9 ^B	30.4 ^A
60	14.4 ^A	34.3 ^{AB}

La CIC presentó diferencias significativas [$F= 8.17$, $p<0.01$], encontrándose el mayor contenido a los 30 días, siendo este de 38.92 cmol kg⁻¹, para estabilizarse en 34.34 cmol Kg⁻¹ al finalizar el proceso. Capistran y colaboradores (2001) determinan que la CIC en un vermicomposta es superior a 30 cmol Kg⁻¹. Harada e Inoko (1975) y Sparks (1999) encontraron que la CIC de las compostas se incrementa con el grado de humificación.

Con relación a la materia orgánica libre en los tiempos estudiados tuvo un comportamiento homogénea, a los 15 días fue de 0.016, a los 30 días fue de 0.025, a los 45 días de 0.03 y a los 60 días de 0.02 gramos. Lo que nos indica que se necesita mas tiempo para que se observe una disminución considerable de la MOL, ya que en condiciones naturales la descomposición de la hojarasca fresca tarda de 10 a 20 años dependiendo al tipo de suelo, clima y vegetación (Duchaufour, 1984).

En cuanto a los valores obtenidos por espectroscopia visible la relación E4/E6 los datos se muestran en la **Tabla 4**; a los 15 días es baja, a 30 días se observa un aumento con respecto a esta, por el contrario a los 40 días disminuye considerablemente y a los 60 días se observa el mayor aumento.

Originalmente se consideraba que una baja relación E4/E6 era indicativo de un alto grado de aromaticidad y un valor elevado reflejaría un alto contenido de compuestos alifáticos.

Tabla 4. Relación de E₄/E₆ de la materia orgánica soluble en diferentes tiempos de vermicomposteo

Tiempo días	E ₄ (465nm)	E ₆ (665nm)	E ₄ /E ₆
15	0.55	0.194	2.74
30	1.00	0.253	3.95
45	0.436	0.208	2.09
60	1.155	0.225	6.88

Más recientemente se ha pensado que la relación E4/E6 está inversamente relacionado con el tamaño o peso molecular y con el grado de asociación de las moléculas de las sustancias húmicas pudiendo considerarlo como un indicador del grado de complejidad (Chen *et al.*, 1977). De manera que, cuando la condensación y aromaticidad de las sustancias húmicas aumenta, la humificación decrece (Anderson, 1977 y Stevenson, 1982). Por tanto, en los primeros días del vermicomposteo (15, 30 y 45 días) se presentó un grado de asociación mayor en la moléculas y una mayor humificación. Con respecto a la parte final del proceso (60 días) se observa menor complejidad en las moléculas y por lo tanto menor grado de humificación.

La espectroscopia de IR ha sido aplicada frecuentemente al estudio de la materia

orgánica del suelo con el propósito de obtener información sobre la naturaleza de los grupos funcionales. Los IR obtenidos en este estudio presentan una banda muy ancha a los 3400 cm^{-1} que se atribuye a grupos alcohólicos (O-H de grupos carboxilo e hidroxilo), una banda no bien definida a los 2920 cm^{-1} que corresponde grupos alifáticos (vibración C=O de ácidos carboxílicos y cetonas), posterior a esto, aparece un hombro a los 1720 cm^{-1} que corresponde a ácidos carboxílicos, una banda bien definida a los 1650 cm^{-1} que son vibraciones de enlaces peptídicos, también aparece una banda a los 1380 cm^{-1} que es parte del triplete de la lignina, la presencia de este pico nos puede indicar que la descomposición de la materia orgánica está en proceso, es decir no tenemos la lignina finalmente procesada, y alrededor de $1030\text{--}1060\text{ cm}^{-1}$ aparece un sistema de bandas de considerable intensidad propias de carbohidratos, un pico importante y que no suele verse es el de 1510 cm^{-1} en donde aparecen vibraciones de anillos aromáticos. Como se puede observar en la **Figura 1** los IR para los diferentes tiempos son muy homogéneos, solo difieren en la longitud del pico ya que algunos picos son mas prominentes que otros, pero en general tenemos los mismos compuestos a 15, 30, 45 y 60 días, por tanto no se presenta una variación en la formación de nuevos grupos funcionales durante el vermicomposteo.

Estudios de espectroscopia de la materia orgánica en suelo indican que la MO formada durante la enmienda utilizando abono de vaca puede ser mas resistente al proceso de descomposición (Ornella *et al.*, 2000). Estudios de Vaca y colaboradores (2006) indican que los IR presentaron un incremento de polisacáridos, péptidos,

ligninas y grupos hidroxilos en la MOS y estructuras alifáticas tanto en la MOS como en ácidos húmicos.

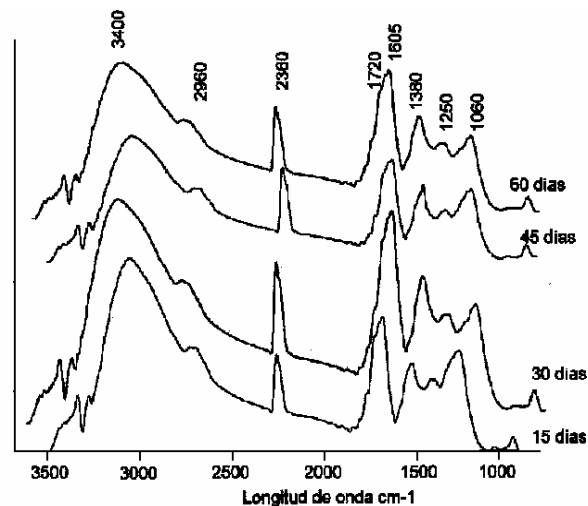


Figura 1. Espectros infrarrojos de la materia orgánica soluble en los diferentes tiempos estudiados

Por otro lado las densidades ópticas relativas se obtienen dividiendo las absorbancia de las diferentes bandas entre una banda fija, en este caso la obtenida a 2920 cm^{-1} (tensión C-H alifática), como se observa en el **Tabla 6a y b**.

Tabla 6a. Densidades ópticas relativas en la MOS, a 15 y 30 días del proceso de vermicomposteo

	DOR (15 días)	DOR (30 días)
3400/2920	1.908	1.594
2920/2920	1.000	1.000
1720/2920	0.542	0.810
1650/2920	1.44	1.304
1610/2920	1.318	1.507
1460/2920	0.503	1.042
1380/2920	0.843	1.005
1250/2920	0.704	0.081
1080/2920	0.964	0.112
1050/2920	0.991	0.115

Tabla 6b. Densidades ópticas relativas en la MOS, a los 45 y 60 días durante el proceso de vermicomposteo

	DOR (45 días)	DOR (60 días)
3400/2920	2.374	1.719
2920/2920	1.000	1.000
1720/2920	1.329	0.625
1650/2920	1.325	1.282
1610/2920	1.527	1.463
1460/2920	0.000	0.000
1380/2920	0.747	0.000
1250/2920	0.693	0.693
1080/2920	0.846	0.846
1050/2920	0.916	0.915

Las densidades ópticas relativas respecto a una banda fija permiten mostrar datos comparativos entre distintos espectros (Lugo, 2002), los datos obtenidos señalan que las muestras presentan preferentemente un carácter alifático.

En la **Tabla 7** se observa el carácter alifático, y el dominio del grupo funcional, que se determina, conociendo las densidades ópticas (DO) relativas que se obtienen dividiendo las absorbancias de las diferentes bandas entre una banda fija (Almendros *et al.*, 1999).

Tabla 7. Relación entre la DO de cada banda 2920/1510 cm⁻¹ (Almendros *et al.*, 1999)

Absorbancia/2920	<1	Carácter alifático
Absorbancia/2920	>1	Dominio del grupo funcional

Los grupos funcionales de la materia orgánica proporcionan capacidad de intercambio catiónico, contribuyendo por tanto a aumentarla en suelos con bajo contenido en arcilla, también proporcionan una mayor capacidad tampón, lo que afectará a la cantidad de enmienda a utilizar si se desea subir el pH (mayor

cantidad de enmienda a mayor capacidad tampón) (Porta *et al.*, 1999).

Las DOR en general en todos los tiempos de vermicomposteo trabajados (15, 30, 45 y 60 días) muestran una predominancia más alifática que de los grupos funcionales determinados.

DISCUSIÓN

Con respecto al los parámetros: pH, MO y CIC, los tres parámetros cambian al tiempo de 30 días, lo que permite ver que en ese tiempo se está presentando una transformación parcial de la MO rica en sustancias de nitrógeno (amonio) ((Tchobanoglous *et al.*, 1994; Sharma *et al.*, 2005) y por otra parte la tendencia hacia la neutralidad, indica que existe una relación muy estrecha entre el grado de humificación y el pH que permite la degradación de ácidos orgánicos y además la presencia del efecto amortiguador de la MO (Delgado *et al.*, 2004).

Con respecto a la MOL no se presentaron diferencias durante el tiempo que duró el proceso de vermicomposteo, el cual se pudo deber a que los cambios se dan en un intervalo superior a los 60 días o más como lo menciona Duchaufour en sus estudios.

La relación E4/E6 con respecto al tiempo tiende a decrecer en los procesos de composteo (Mathur *et al.*, 1993), no así se dio en este proceso, pero si se presenta un carácter alifático y una disminución de la humificación y por consiguiente un decremento en el tamaño y peso molecular, así como se presupone un decreció la relación C/H y se incremento la relación C/O en la MOS (Herman *et al.*, 2005).

Con respecto a su IR se presentó un comportamiento homogéneo en todo el proceso con respecto a los grupos funcionales, debido a el tiempo en que se

dio, a la naturaleza del residuo orgánico utilizado que no permitió la descomposición y aparición diferentes grupos funcionales a los presentes (Ornella *et al.*, 2000).

Las densidades ópticas relativas se incrementan con respecto al tiempo durante el proceso de composteo (Egrinya *et al.*, 2004), caso diferente se presento en el proceso de vermicomposteo, estando homogéneas pero si se dio una preferencia por el carácter alifático.

CONCLUSIONES

Los parámetros pH, CIC y MO permiten indicar que el proceso de humificación se dio a los 30 días.

El proceso de humificación de la MOS le confiere un carácter alifático y el tamaño y peso molecular de la MOS decreció, por lo que la vermicomposta puede ser aplicada como abono orgánico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Almendros G. y Dorado J. (1999). Structural factors related to the biodegradability of laboratory-modified humic acid preparations. *Eur. J. Soil sci.* 50:227-236.
- Atiyeh, R. M. Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., and Shuster, W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia.* 44: 579-590.
- Bernal M.P., J. Cegarra A. Roig, M. A. Sanchez-Monedero and C. Paredes . (1999) Composting of organic wastes as a strategy for producing high quality organic fertilizers. jeq.scijournals.org/cgi/content/full/31/4/1323.
- Calace N., Liberatori A., Petronio B.B., Pitroletti M., (2001). Characteristics of different molecular weight fractions of organic matter in landfill leachate and their role in soil sorption of heavy metals. *Environ. Pollut.* 113: 331-339.
- Cédric Francou, Poitrenaud Maelenn and Houot Sabine. (2005). Stabilization of organic matter during composting: influence of process and feedstocks. *Compost Science & Utilization.* Vol. 13, No. 1: 72-83
- Capistrán F., E. Aranda y J.C. Romero. (2001). Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje. Instituto de ecología, A.C. Xalapa, Ver. 150 p.
- Chen W., Tan S. K., Tay J.H. (1977). Distribution Fractional composition and release of sediment-bound heavy metals in tropical reservoirs. *Water Air and soil Pollut.* 92:273-287.
- Delgado A., M de M., Porcel C.M.A., Miralles de Imperial H.R., Beltrán R.E.M., Beringala B.L. Martín S.J.V. (2004). Efecto de la vermicultura en la descomposición de residuos orgánicos. *REv. Int. Contam. Ambient.* 20(2):83-86
- Duchaufour P. (1984). Edafología edafogénesis y clasificación. Masson. Barcelona. 493 pp.
- Harada Y. and A. Inoko, 1980. the measurement of the cation exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity. *Soil Sci. Plant Nutr.* 26: 127-134
- Jackson L.M. (1982). Análisis químico de suelos, Omega, Barcelona España.
- Heyman K., Mashayekhi H., Xing B. (2005). Spectroscopic analysis of sequentially extracted humic acid from compost. *Journal Spectroscopy letter.* (38): 293-302.
- Egrinya E.A., Monn T., Yamamoto S., Masuda T., Endo T., Irshad M. (2004). Changes in humic substances and phosphorus fractions during composting. *Soil Science and plant analysis.* 34(15-16): 2303-2314.
- Kale R. D., B.C. Malesh, K. Bano and D.J. Bagyaraj. (1992). Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial population in a paddy fields. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1317-1320.
- Kochany, J., and Smith, W. (2001). Application of humic substances in environmental remediation. Conference, feb 25-march 1 Tucson Az. USA. .
- Kononova M.M. (1983). *Soil Organic Matter*. Pergamon Press. London. 450 p.

- Kumada K., Sato, O (1980). Characteristics of the green fraction of P type humic acids. *Soil Sci.Plant Nutr.* 8: 309-316.
- Lugo de la F. J. (2002). Dinámica de los metales pesados en el sistema suelo-sedimento-fracción húmica y arcillosa en la cuneca alta y media del río Lerma. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Martínez, C. (1996). Potencial de la lombricultura. Elementos básicos para su desarrollo. Lombricultura técnica mexicana. 1ª edición. México.
- Mathur P., Owen G., Dinel H. and Schnitzer M. (1993). Determination of compost biomaturity. *Biological Agriculture on Horticulture*.(10): 65-85
- Ornella F., Ciavatta C. C., Sanchez-Cortes S., Tugnoli V., Sitti L., Gessa C. (2000). Spectroscopic characterization of soil organic matter in long-term amendment trials. *Soil Science*. 165(6):495-504.
- Piccolo A. 2002. The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. In: *Advances in Agronomy* 75: 57-135.
- Porta C.J., López-Acevedo R.H., y Grijal F. (1999). Edafología: para la agricultura y el medio ambiente. Red. Mundi-Prensa. España.
- Sanders J.R. y McGrath S.P., (1988) Experimental measurements and computer prediction of copper complex formation by soluble soil organic matter. *Environ. Pollut.* 49; 63-76.
- Sharma S., Pradham K., Satya S., Vasudevan P. (2005). Potentiality of earthworms for waste management and in other uses-A review. *The Journal of American Science*. 1(1):4-16.
- Sparks D. L. (1999). *Soil Physical Chemistry*. Second Edition, CRC press LLC.
- Soto, G., y Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*. (65):123-129.
- Webster R. y Oliver M.A.(1991). *Statistical methods in soil land recourse survey*. Oxford university Press. Great Britain.
- Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. (1994). *Gestion integral de residuos solidos*. Ed. McGraw-hill, Madrid, España.
- Traina S.J., Novaj,J., Smeck, N.E. (1990) An Ultraviolet absorbente method of estimating the percent aromatic carbon content humic acids. *Journal of Enviromental Quality* 19,151-153.
- Vaca P. R., Lugo de la F., Esteller A.M.A.(2006). Characterization of soluble organic matter and humic acids in sewage sludge or compost amended soil. *Rev. Int. Contam. Amb.*22(1):27-37.

Reinyección: una Alternativa para el Desecho de Salmuera y Recarga Hidráulica en Yacimientos Geotérmicos

Juan De Dios Ocampo Díaz¹- Margarito Quintero Núñez²

¹Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería, Mexicali.
Mexicali, Baja California, México

email: juandios@uabc.mx

²Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería.
Mexicali, Baja California, México

Resumen

En la actualidad el aprovechamiento óptimo de los recursos energéticos se ha vuelto prioritario para cualquier nación que cuente con ellos, adicionalmente el cumplimiento de las normas ambientales ligadas a la explotación y manejo de dichos recurso se ha vuelto una necesidad de primer orden. La energía geotérmica corresponde a la energía térmica contenida en el interior de la tierra, que se transmite por conducción hacia la superficie, la cual es un recurso parcialmente renovable y de alta disponibilidad. Por otra parte, las tecnologías geotérmicas brindan ventajas ambientales sobre la generación de energía convencional, ya que las emisiones de gases son usualmente más bajas, y las sales y minerales disueltas en fluidos geotérmicos producidos son en la mayoría de los casos retornados hacia el yacimiento a través del proceso de reinyección. La reinyección en caliente o en frío en los campos geotérmicos en operación comercial actualmente es una práctica común, la cual se realiza ya sea para el desecho de la salmuera remanente del proceso de generación de energía eléctrica o para la recarga hidráulica del yacimiento con la finalidad de mantener la presión en el mismo e incrementar su longevidad y consecuentemente el tiempo de vida productiva de los pozos. En este trabajo se presenta las ventajas y problemas relacionados a la reinyección de salmuera remanente en yacimientos geotérmicos, enfatizando en los problemas de incrustación, principalmente por depositación de sílice, los métodos de tratamiento de la salmuera para reducir o minimiza los impactos del contenido de sílice en pozos reinyectores, así como el aprovechamiento y recuperación de los elementos y

compuestos químicos de dichas salmueras a nivel industrial.

Abstract

At the present time the optimal energy resources utilization has become high-priority for any country, besides, the compliment of the environmental norms related to the operation and handling of this resource became a necessity of high priority. The geothermal energy corresponds to the contained thermal energy inside the earth, transmitted by conduction towards the surface, which is a partially renewable resource and of high availability. On the other hand, the geothermal technologies offer environmental advantages over the generation of conventional energy, since the gas emissions are in lower proportions, and the salt-minerals dissolved in produced geothermal fluids are in most of the cases returned to the reservoir by injection process. Usually the brine waste injection is a common practice to dispose waste fluids both producing wells and condensate lakes (hot or cold brine), and for recharge the reservoir with the purpose of maintaining the pressure and consequently increasing its longevity, and so the productive life of wells. In this work, the criteria used for the design and location of injection wells are discussed, as well as the problems that usually occur during injection processes both in wells and reservoir, besides some reported practical cases of injection of brine disposal in geothermal field on operation stage are shown.

Palabras Clave – Reinyección, Desecho de salmuera, yacimiento geotérmico

I. INTRODUCCIÓN

La energía geotérmica se define como aquella porción del calor contenido en el interior de la tierra que puede ser recuperado y explotado, y se considera como un recurso parcialmente renovable y de alta disponibilidad. El aprovechamiento de la energía geotérmica es determinado por una serie de condiciones geológicas, geohidrológicas, geoquímicas y termodinámicas que establecen la existencia de yacimientos geotérmicos. Una vez que se dispone de pozos de explotación se extrae el fluido geotérmico el cual puede consistir en una mezcla multifásica y multicomponente formada principalmente por agua, vapor, gases incondensables y sólidos disueltos, lo cual depende de las características termodinámicas y químicas de los fluidos almacenados en el yacimiento. Los fluidos producidos a través de los pozos antes de ser conducidos a las plantas generadoras de energía eléctrica, primero pasa por un proceso de separación, de donde la fase de vapor separado se conduce hacia las centrales geotermoeléctricas y el agua separada o salmuera remanente se conduce mediante tuberías o canales hacia lagunas, zonas de descarga, o pozos de reinyección. Después de su paso por la turbina el vapor es condensado y enfriado en condensadores y torres, y se conduce parte de este condensado hacia lagunas y pozos de reinyección.

II. REINYECCIÓN EN YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS

En la actualidad, es una práctica común en los campos geotérmicos en operación comercial el disponer mediante el proceso de reinyección de los fluidos remanentes, ya sea “calientes” directamente del separador

de los pozos productores, así como de los fluidos “fríos” almacenados en lagunas, los cuales provienen de los pozos a través de canales o de las torres de enfriamiento y eyectores (Arnórson, 2000).

II.1 Ventajas de la reinyección

La reinyección (Granados et al., 1996; Arnórson, 2000) de la salmuera remanente de los procesos geotérmicos ofrece las siguientes ventajas:

- Disminuye los riesgos de impacto ambiental que normalmente crea la disposición o almacenamiento en lagunas.
- Proporciona un medio de recarga hidráulica para el yacimiento, incrementando la longevidad del mismo y consecuentemente tiempo de vida productiva de los pozos.
- Recuperación adicional de energía del yacimiento geotérmico, debido al barrido de calor existente en la matriz rocosa del yacimiento.
- Previene la subsidencia del terreno que sobreyace al yacimiento, debido al equilibrio entre las masas de los fluidos extraídos y el reinyectado.

II.2 Problemas de la reinyección

Existen una serie de problemas que usualmente se presentan cuando se utiliza la reinyección para la disposición de salmuera remanente en los campos geotérmicos en explotación comercial, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- Resistencia mostrada por la formación, o zonas del yacimiento a los fluidos reinyectados (Mihcakan et al., 2005), es decir, baja permeabilidad de los estratos seleccionados para inyectar, esto eleva las presiones de inyección.

- Irrupción térmica, causando un decremento en la temperatura del yacimiento y fluidos almacenados, ésto se refleja en la entalpía de los fluidos producidos; lo anterior ocurre cuando la invasión de los fluidos inyectados hacia las zonas productoras del yacimiento es rápida y en grandes cantidades, entonces éstos, no cuentan con el tiempo suficiente para equilibrarse con la temperatura de la roca (Arnórson, 2000). Debido a lo anterior muchas veces la reinyección se realiza en zonas del yacimiento identificadas como límites o en áreas retiradas de las zonas de explotación.
- Incrustación de sílice amorfa en el pozo y zonas del yacimiento aledañas al fondo del mismo. Hasta la fecha la comprensión de los efectos geoquímicos que se causa con la inyección de fluidos en los yacimientos geotérmicos no es clara, y consecuentemente se puede subestimar el impacto de la reinyección en el yacimiento (McLin et al., 2006).

III. CASOS DE REINYECCIÓN DE SALMUERA

Existe numerosos casos documentados sobre las diversas experiencias y problemas que se han registrado al reinyectar efluentes geotérmicos, ya sea para desecho o recarga hidráulica del yacimiento; sin embargo, uno de los que causa gran impacto, es el fenómeno de precipitación-depositación-incrustación.

Debido a que el fluido geotérmico remanente de las operaciones geotérmicas contiene cantidades significativas de solutos, los minerales que se precipitan de dichas salmueras tienden a causar problemas de obstrucción en diversos grados en los sistemas de reinyección (tanques almacenadores, líneas

de conducción de agua separada, pozos y yacimientos).

Al explotar la energía geotérmica, la salmuera caliente se produce del yacimiento y el calor o vapor se extrae de dicha salmuera. Ya que la salmuera caliente se encuentra en equilibrio con la rocas del yacimiento (Chan, 1989), ésta contiene una gran cantidad de sólidos disueltos.

Las salmueras geotérmicas pueden llegar a sobresaturarse con algunos de los minerales presentes, los cuales también precipitan al ocurrir un enfriamiento o disminución de temperatura como consecuencia del proceso de la extracción de calor. Por lo anterior, la precipitación de los minerales es prácticamente un problema inevitable en la explotación de los recursos geotérmicos.

La precipitación de minerales ocurre en una gran cantidad de partes de la operación de campo geotérmico: yacimientos, pozos productores, instalaciones superficiales, plantas generadoras, turbinas y en los sistemas de reinyección y la eliminación de la sílice incrementa los costos de operación (Henley, 1983).

Los minerales que más comúnmente se precipitan de las salmueras geotérmicas son la calcita, sílice amorfa y sulfuros (Tassew, 2001). Entre dichas incrustaciones, las formadas por sílice son las que representan los mayores problemas ya que forma depósitos duros y una vez precipitada es difícil de tratar. Debido a la razón de disolución que presenta usualmente la sílice, las incrustaciones de éste tipo no son fáciles de remover. En contraste con las incrustaciones de calcita y sulfuros que son disueltas más fácilmente y pueden ser tratadas con ácidos (Park et al., 2006). A continuación se presentan algunos casos de problemas observa-

dos en pozos reinyectores en campos geotérmicos.

- *Coso (EUA)*. Investigaciones realizadas por McLin et al., (2006), han mostrado que las pérdidas de la capacidad de inyección en algunos pozos inyectores después de haber permanecido en reinyección por períodos comprendidos entre 5 y 7 años, en este campo geotérmico, fueron causados principalmente por depositación y formación de incrustaciones de minerales, esencialmente por sílice amorfa y calcita en fracturas del yacimiento cercanas al fondo del pozo.
- *Salton Sea (EUA)*. Los problemas de incrustación observados en este campo geotérmico en pozos reinyectores ha mostrado que los depósitos incrustantes se encuentran principalmente formados por barita, fluorita y con presencia de trazas de sílice y sulfuros (McLin et al., 2006).
- *Takigami (JAPON)*. La reinyección (en caliente) en este campo geotérmico se realiza con los fines de disponer de la salmuera remanente de los procesos geotérmicos, así como recargar hidráulicamente el yacimiento. El principal problema observado en los pozos inyectores ha sido el decremento de la capacidad de inyección, determinándose que esto se debe principalmente a los problemas de incrustación en las fracturas de las zonas de aceptación del yacimiento en base a la formación de depósitos incrustantes (Goto et al., 2000).
- *Tiwi (Filipinas)*. En este sitio se han estado reinyectando los fluidos remanentes para recarga hidráulica y disposición, que al principio de la etapa de explotación se descargaban a una laguna de donde

los agricultores tomaban agua para riego, posteriormente dicha práctica fue desechada. Los principales problemas observados han sido la irrupción térmica y química en el yacimiento de los fluidos inyectados, afectando las características en pozos productores, razón por la cual se ha suspendido la reinyección en pozos cercanos a las áreas de producción, realizándose dicha práctica en sitios más distantes a las zonas productoras. Otro problema observado, ha sido la obturación de pozos y zonas de inyección de la formación debido a los depósitos incrustantes (Santos et al., 1993; Baker et al., 1999). Por otra parte existen algunos casos en pozos reinyectores en caliente que han permanecido reinyectando salmuera por espacio de 10 años en este yacimiento, que han mostrado durante dicha etapa un decremento en la aceptación de flujo de reinyección debido principalmente a formación de incrustaciones, se llevaron a cabo reparaciones de los pozos mediante limpiezas mecánicas para así eliminar la sílice depositada tanto en el pozo como en zonas del yacimiento aledañas al fondo de mismo (Ontoy et al., 2003).

- *Los Geysers (USA)*. Las características de vapor dominante existentes en este campo geotérmico considerado como uno de los mayores a nivel mundial, y la evolución termodinámica del mismo como consecuencia de la explotación y la insuficiente recarga natural de fluidos, ha dado como resultado los requerimientos de las actividades de reinyección a gran escala con la finalidad de recargar hidráulicamente el yacimiento, para sustentar tanto la presión en el mismo que

mostrado declinación, así como en la cantidad de flujos máscicos producidos por los pozos (Pruess et al., 2007). Se ha puesto en práctica un sistema de reinyección, el cual utiliza tanto el agua del condensado de la torres de enfriamiento de las centrales geotermoeléctricas, así como el agua reciclada de desecho de las comunidades cercanas al campo geotérmico, dicha agua se transporta hacia el campo a través de tuberías desde las ciudades de Lake y Sonoma; por otra parte, también existe envío de agua del drenaje reciclada de la ciudad de Santa Rosa, California como parte del proyecto de recarga hidráulica denominado "Santa Rosa Geysers Recharge Projects" a través de una tubería de 65 km de longitud. El caso de la reinyección en este campo geotérmico, es una situación especial ya que por su naturaleza no produce prácticamente salmuera remanente de los procesos geotérmicos, requiriendo más bien recarga hidráulica de agua de fuentes externas al yacimiento.

IV. TRATAMIENTO DE LA SALMUERA DE REINYECCIÓN

En los fluidos geotérmicos de alta temperatura la concentración de sílice es controlada por la solubilidad del cuarzo. Los minerales de sílice, tales como el cuarzo, poseen un alto grado de solubilidad, y al utilizarse la salmuera en los procesos geotérmicos se causa un enfriamiento, sobresaturándose con respecto a la sílice amorfa. Su razón de precipitación es rápida y el manejo de salmuera de desecho sobresaturada con sílice proveniente de yacimientos geotérmicos de alta temperatura, conduce a serios problema en las plantas geotérmicas. Debido a és-

to, las aguas geotérmicas son manejadas o desechadas a temperaturas por encima de la temperatura de saturación de la sílice amorfa. Varios métodos han sido propuestos para reducir el riesgo de incrustación por sílice. Estos incluyen:

- Decremento o incremento del pH del agua de desecho (Gill, 1993; Gudmundsson and Einarsson, 1989; Nishiyama et al., 1985; Gallup, 1996).
- Mezcla del agua de desecho con aguas de baja concentración de sílice (Gallup and Featherstone, 1985).
- Uso de inhibidores orgánicos (Gallup 2002, Candelaria et al., 1996).
- Precipitación controlada al agregar gel de sílice (Sugita et al., 1998 y 1999).
- Reacción catiónica (Ueda et al., 2000 y 2003).
- Almacenaje y retención en lagunas (Yanganase et al., 1970).

Dichos métodos han sido probados con éxito en diversos campos geotérmicos en operación comercial (Gunnarsson y Arnórson., 2005). Ejemplo de lo anterior, se tiene el caso de las pruebas realizadas en el campo geotérmico de Otake en Japón, en las cuales al utilizar el almacenaje y retención de la salmuera remanentes de los procesos geotérmicos en laguna, el nivel de incrustación por sílice en tuberías de conducción de agua separada se ha reducido una magnitud de 10 veces (Yanganase et al., 1970). La utilización o selección de un método determinado dependerá del análisis realizado por los especialistas involucrados en el proceso de reinyección de salmuera, así como de las características muy particulares de cada campo geotérmico.

V. POZOS INYECTORES CRITERIOS Y RECOMENDACIONES

Es una práctica común en los campos geotérmicos en operación comercial, el utilizar como pozos de reinyección aquellos pozos que dejaron de producir o que no resultaron buenos productores; sin embargo, esto conduce a que se presenten problemas a corto plazo del tipo de irrupción química y térmica del fluido inyectado en las zonas del yacimiento donde se localizan los pozos de producción. Por lo cual se deben de planear y poner en marcha un plan estratégico bien fundamentado, tanto para la disposición de la salmuera remanente y a su vez que sirva como recarga hidráulica al yacimiento. La información a considerar para determina los sitios más adecuados para reinyectar la salmuera remanente podrá involucrar los aspectos siguientes:

Modelo geohidrológico más actualizado del campo geotérmico.

Modelo geoquímico más actualizado de campo geotérmico.

Pruebas de trazadores

Prueba de presión

Comportamientos productivos y geoquímicos de pozos.

Información sobre reinyecciones realizadas.

Es de suponer que no se tendrá una disponibilidad total de la información antes mencionada, pero también queda claro, que a mayor cantidad de información, las decisiones que se tomen serán más acertadas.

Por otra parte, en la actualidad, la utilización de la simulación numérica de yacimientos se ha convertido en una herramienta de mucha ayuda para el entendimiento de los

procesos de producción e inyección, bajo diversos escenarios. Un ejemplo de lo anteriormente expuesto, es la utilización del simulador "TOUGHREACT", el cual ha sido usado para modelar los efectos geoquímicos debido a la reinyección de salmuera remanente en campos geotérmicos en producción, tal como ocurrió en Coso (Mc. Lin et al., 2006; Kova et al., 2006), Tiwi (Ontoy et al., 2003), Ahuachapan y Berlín (Montalvo et al., 2005).

Adicionalmente, se deben de cumplir con los reglamentos normativos ambientales que rijan cada sitio donde se localiza el campo geotérmico analizado.

VI. APROVECHAMIENTO DEL RECURSO

La salmuera geotérmica esta conformada por una serie de elementos y compuestos químicos los cuales varían en su concentración de un campo a otro, haciendo en cada caso en particular atractiva su extracción. Los métodos de extracción desarrollado y probados a su vez dependen de las características químicas de los fluidos producidos, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

Adición de limo

Adición de coagulantes como sales metálicas

Coagulación electroquímica.

Ultrafiltración.

Lechos fluidizados

Filtros de membrana

Una explicación y análisis a mayor detalle de cada uno de estos métodos mencionados, fue realizada por Potavop et al, (2006).

Los campos geotérmicos donde actualmente se realiza la extracción de compuestos químicos a nivel industrial se presentan en la tabla no. 1. No obstante existir una gran cantidad de yacimientos en explotación, como se puede observar tan solo en cinco de ellos se realiza la extracción a nivel industrial; en muchos otros se ha manejado a nivel de pruebas en plantas piloto.

Tabla 1. Extracción de compuestos en campos geotérmicos

Campo	Compuesto	País
Salton Sea	Zn	EUA
Reykjanes	SiO ₂ , NaCl, CO ₂	Islandia
Kizildere	CO ₂	Turkia
Larderello	H ₃ BO ₃ , Na ₂ B ₄ O ₇ , 10H ₂ O, NH ₄ HCO ₃ , S	Italia
Cheleken	Br, J	Turkmenistan

La cantidad de salmuera remanente que se produce de un campo geotérmico a otro es muy variable, dependiendo de la cantidad de pozos en operación, de la razón agua vapor, presión de separación, etc., razón por la cual es difícil realizar una estimación promedio de los compuestos o productos que pudieran aprovecharse de un yacimiento geotérmico, sin embargo es hecho probado que si es factible la recuperación de los mismos.

VII. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

La explotación y utilización de los recursos geotérmicos genera residuos, que deben de

alguna forma ser desechados o eliminados, tales como salmuera remanente, incrustaciones, lodos, etc, con la finalidad de cumplir con los reglamento normativos relacionados al impacto ambiental. La reinyección de salmuera remanente de los procesos geotérmicos ofrece una excelente alternativa para el desecho de salmuera; adicionalmente, una política de reinyección bien planeada y basada con pruebas de trazadores, aceptación e inyección pueden conducir a sustentar tanto la presión de yacimiento como los flujos másicos extraídos mediante los pozos productores.

La incrustación por sílice en los sistemas de reinyección (tanques, líneas de reinyección, válvulas accesorios, pozos reinyectores y zonas de aceptación del yacimiento) es un problema inherente que se tiene en los campos geotérmicos en donde se maneja principalmente salmuera remanente de los procesos geotérmicos la cual es extraída de sistemas hidrotermales (líquido dominante) de alta temperatura. El tratamiento de la salmuera de desecho mediante diversos métodos probados en campos geotérmicos en operación comercial ofrece una buena opción para reducir los niveles de sílice en la salmuera remanente de los procesos geotérmicos, reduciendo ésto el nivel de problemas de incrustación que se presenta en los sistemas de reinyección.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería Mexicali, de la Universidad Autónoma de Baja California, por su apoyo para la realización y presentación de este trabajo.

REFERENCIAS

- Arnórson, S., 2000. Injection of Waste geothermal Fluids: Chemical Aspects. Proceedings World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan.
- Baker, B.J., Atkinson P.G., Powell T.S. 1990. Development and Production Performance of the Tiwi Field. PROCEEDINGS Fifteenth Workshop on geothermal Reservoir. Stanford California. SGP-TR-130. 245-251.
- Candelaria, M. N. R., Garcia, S. E., Baltazar, A. D. J., Solis, R. P., Cabel, A. C. Jr., Noguera, J. B., Reyes, R. L., Jordan, O. T. (1996). Methods of coping with silica deposition – the PNOC experience. Geothermal Resources Council Transactions, 20, 661-672.
- Chan, S.H., 1989. a Review on Solubility and Polymerization of Silica. Geothermics, 18. (1-2), 49-56.
- Gallup, D. L. y Featherstone, J. L. (1985). Acidification of Steam Condensate for Incompatibility Control during Mixing with Geothermal Brine. U.S. Patent 4,522,728.
- Gallup, D. L. (1996). Brine pH modification scale control technology. GRC Trans, Vol.20, pp. 749-755.
- Gallup, D. L. (2002). Investigations of Organic Inhibitors for Silica Scale Control in Geothermal Brines. Geothermics 31, 415-430.
- Goto, H., 2000. The Decrease of Capacity in Re-Injection Wells in the Takigami Field, Japan. Proceedings World Geothermal Congress, Kyushu Tohoku, Japan.
- Granados, E., S.K. Sanyal, A.J. Menzies, y C.W. Klein, 1993. Problemas y Soluciones Relacionados con la Inyección de Fluidos en Campos Geotérmicos. "The Injection of Geothermal Fluids", Geothermal Resources Council Workshop.
- Henley, R.W., 1983, pH and Silica Scaling Controls in Geothermal Field Developments, Geothermics, 12 (4), 307-321.
- McLin, K.S., J.N. More, J. Hulen, J.R. Bowman, and B. Berad, 2006. Mineral characterization of Scale deposit in Injection Wells: Coso and Salton Sea Geothermal Fields, CA. PROCEEDINGS, Thirty-first Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford California, SGP-TR-179.A.
- Mihcakan, M.I., E.I. Altinay, and I. Kasap, 2005. The Hall plot Analysis of a Water Injection Test Affected by Geothermal Reservoir Response. Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey.
- Montalvo, F., T. Xu, K. Pruess, 2005. TOUGHREACT Code Applications to Problems of Reactive Chemistry in Geothermal Production-Injection Wells. First Exploratory Model for Ahuachapan and Berlín Geothermal Field. Proceedings World Geothermal Congress. Antalya, Turkey.
- Moya, P., and S. Castro, 2004. Pressure Response to Production and Injection at The Miravalles Geothermal Field, PROCEEDINGS. Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford California, SGP-TR-175.
- Nishiyama, E., K. Hirowatari, and K. Kusunoki, 1985. Study on Injecting low temperature geothermal brine. GRC Trans, Vol.9 (part2), pp.347-351.
- Ontoy, Y., Molling P., Xu T., S N., Parini M., and Pruess K. 2003. scaling of hot brine Injection Wells: Supplementing Field Studies With reactive Transport Modeling. PROCEEDINGS THOUGH Symposiums, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, 1-9
- Park, J., D. Norman, K. McLin, and J. More, 2006, Modeling Amorphous Silica Precipi-

- tation: Strategy to Reduce Silica Precipitation Near Coso Injection Wells. PROCEEDINGS, Thirty-first Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford California, SGP-TR-179.
- Prues, K., N.S. Spycher and T.J. Knafsey, 2007. Water Injection as a Means for Reducing Non-Condensable and Corrosive Gases in Steam Produced from Vapor-Dominated Reservoir. PROCEEDINGS, Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, SGP-TR-183.
- Santos, S.L., Carandang, 1993. Injection History and Strategy Tiwi Geothermal Field, Philippines. Proceedings 15th New Zealand Geothermal Workshop.
- Sugita, H., Bando, Y. y Nakamura, M. (1998). Removal of Silica from Geothermal Brine by Seeding Methods using Silica Gel. J. Chem. Eng. Japan 31, 150-152.
- Sugita, H., Kato, K., Ueda, A., Matsunaga, I., Sakurai, Y., Yasuda, K. Bando, Y. y Nakamura, M. (1999). Fields Tests on Silica Removal from Geothermal Brines in Sumikawa and Onuma Geothermal Areas. J. Chem. Eng. Japan 32. 696-700.
- Tassew, M., 2001. Effect of Solid deposition on Geothermal Utilization and method of Control, Geothermal Training Programme. The United Nations University, Reykjavik, Iceland, pp. 291-310.
- Ueda, A., Kato, K., Abe, K., Mogi, K., Furukawa, T. y Ishimi, K. (2000). Recovery of Silica from the Sumikawa Geothermal Fluids by Addition of Cationic Reagents. J. Geoth. Res. Soc. Jpn. 22, 249-258.
- Ueda, A., Kato, K., Mroczek, E. y Thain, I. A. (2003). Silica removal from Mokai, New Zealand Geothermal Brine by Treatment with Lime and a Cationic Precipitant. Geothermics 32, 47-61.
- Yanagase, T., Suginoara, Y. and Yanagase, K. (1970). The properties of Scales and Methods to Prevent scaling. Geothermics (special issue 2), 1619-1623.

Red de centros de acopio de residuos sólidos municipales para la Microcuenca de Sierra Nevada

Ricardo Lorenzo Rios Díaz, Sylvie Turpin Marion y Rosa Maria Espinosa Valdemar, José Ángel Hernández Rodríguez

Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, Avenida San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Del. Azcapotzalco, 02200 México D.F. Tel. (55) 53 18 90 65; Fax: (55) 53 94 73 78. Ciudad de México, México

ricardo_riosdi@yahoo.com.mx, stm@correo.azc.uam.mx, rmev@correo.azc.uam.mx,
hrja@correo.azc.uam.mx

Resumen

Se presentan los resultados del estudio de *factibilidad* de un sistema de centros de acopio de RSM diseñado para los 11 municipios de la microcuenca de Sierra Nevada. El sistema se diseñó para funcionar en tres etapas, en la primera se *separarán* el PET, HDP, vidrio, cartón, papel, aluminio y otros metales. Los materiales no incluidos en esta lista se *comercializarán* en la segunda etapa. En la tercera, se diseñará un centro regional de *reciclaje*. Los materiales considerados para *comercialización*, se seleccionaron por su disponibilidad en los RSM de la Región y su fácil inserción en el *mercado*, el cual fue escogido y analizado por su ubicación dentro de la ZMVM. El estudio de producción indica que la satisfacción del mercado sería fácil de lograr y determina que la mejor opción sería iniciar con *centros de acopio* municipales y dejar pendiente el centro de acopio regional. El análisis financiero muestra la *viabilidad económica* del proyecto para algunos productos y para solo algunos municipios.

Abstract

This is the results for the business plan for a system of collection center's of MSW for 11 municipios of La Microcuenca of Sierra Nevada. This system was designed to work in tree stages. In the first stage the subproducts; PET, HDP, Glass, Paper, Carton, Aluminium and others metals. Those materials not included in the fist stage will be commercialized at the second stage. At the third stage a regional collection

center will be design to recycle these products. The materials considered to commercialize were selected because his Available at the composition of MSW at the region and his easy insertion at the local market. The market was choose and analyzed in the Metropolitan Mexican Valley Zone by his close location to the region of study. The Production study shows that the qualities for this market are easy to make and municipal collection centers are the best option to start this project. The financial study shows the viability of only some products and some municipal center's.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico, junto con un crecimiento industrial, ha traído como consecuencia un desequilibrio en las formas de gestión de los municipios. La cantidad de servicios ofrecidos por estas entidades, se ha incrementado y, sin embargo, en ocasiones es insuficiente para atender uno de los problemas más críticos que enfrenta la sociedad: la basura. Esta afirmación se debe al esfuerzo y al costo que implica la recolección de los residuos sólidos municipales (RSM) y, de manera determinante, al alto costo del confinamiento ambientalmente adecuado para su eliminación total o parcial. El incremento en la generación de residuos sólidos, trae consigo un conflicto ambiental muy serio, afectando negativamente elementos vitales como agua, aire,

suelo y, hasta la salud del ser humano. (Gobierno del Estado de México, 1998)

El manejo integral de los residuos combina flujos, métodos de recolección y procedimiento, de lo cual derivan beneficios ambientales, optimización económica y aceptación social en un sistema de manejo práctico para cualquier región. Esto se puede lograr combinando opciones de manejo que incluyen esfuerzos de reuso y reciclaje, tratamientos que involucran compostaje, biogasificación, incineración con recuperación de energía, así como la disposición final en rellenos sanitarios. El punto clave no es cuantas opciones de tratamiento se utilicen, o si se aplican todas al mismo tiempo, sino que sean parte de una estrategia que responda a las necesidades y contextos locales o regionales, así como a los principios básicos de las políticas ambientales en la materia. (SEMARNAT, 2001)

En el contexto de desarrollo sustentable, el objetivo fundamental de cualquier estrategia de manejo de residuos sólidos debe ser la maximización del aprovechamiento de los recursos y la prevención o reducción de los impactos adversos al ambiente que pudieran derivar de dicho manejo. (SEMARNAT, 2001)

Los mercados de materiales reciclados castigan severamente las ventas por menudeo y sin tratamiento previo. Por lo tanto, mientras los proyectos de reciclaje operen solo a escala comunitaria, no podrán reunir los volúmenes requeridos para lograr precios en el mercado, suficientes para cubrir el costo adicional de la clasificación, tratamiento y transferencia.

La creación de un sistema regional de manejo integral de residuos sólidos que busca: reducir la cantidad de desechos producidos;

aprovechar al máximo los reciclables y garantizar la disposición segura de los no reciclables, podría ser una alternativa para potencializar la aplicación del manejo integral de los residuos en entidades de bajo presupuesto o de baja generación de residuos. Con la coordinación intermunicipal, se podrían acopiar los volúmenes requeridos para negociar mejores precios en el mercado, compartir infraestructuras, aprovechar experiencias, disminuir costos de operación y lograr conjuntamente condiciones de gestión adecuada de los residuos.

El sistema descansa en dos niveles de coordinación. En el primero, se encuentran las “juntas locales” constituidas por autoridades locales, grupos e individuos activos de la comunidad, que buscan transformar el sistema municipal a través de acciones como: campañas de limpieza, separación doméstica y reducción, producción y venta de composta, saneamiento del tiradero municipal; entre otros. En el segundo nivel, se tiene el “organismo regional” que es la instancia de coordinación regional, en donde participan representantes de las “juntas locales”, juntos con representantes de dependencias estatales y federales y organismos asesores. Este proceso permite asesorar a varios municipios a la vez y generar procesos de aprendizaje horizontal, en donde cada municipio aprende de los aciertos y nudos de los demás. De funcionar este sistema, podría considerarse como un modelo para otros futuros proyectos regionales y de manejo de cuencas. (UAM - SEMARNAT, 2002)

La instalación de estos sistemas debe ser gradual ya que los cambios en la administración de los residuos para implantar una

gestión integral sustentable, demanda el fortalecimiento de una gran variedad de capacidades en materia de recursos humanos y tecnológicos, instrumentos de gestión, creación de mercados y de infraestructura de servicios, de educación, comunicación y capacitación. (Cortinas, 2002)

El reciclaje, dentro de un sistema de manejo integral de RSM, puede ser promovido mediante el uso de indicadores de desempeño, en lugar de metas obligatorias. El progreso de un indicador de desempeño se calcula a partir de la suma de toneladas recuperadas en esquemas regionales. Esta estrategia refleja la realidad operacional en las diferentes localidades y no trata de forzar la recuperación fijando metas obligatorias nacionales que localmente pueden no ser benéficas desde los puntos de vista ambiental o económico. Esta estrategia permitiría al país en su conjunto a aprender y construir a partir de los éxitos de esquemas locales. (SEMARNAT, 2001)

La microcuenca de Sierra Nevada, ubicada en las faldas occidentales de los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl, colinda con la frontera sureste de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), tiene una extensión de 945 km² y abarca once municipios del Estado de México, entre los cuales destacan Amecameca y Tlalmanalco. Sus bosques, suelos y agua proveen servicios ambientales, vitales para la sustentabilidad de la ZMVM tales como filtración del aire, producción de oxígeno y abastecimiento de agua para el acuífero de Chalco. Los lixiviados provenientes de los RSM generados en la región, han ocasionado ya severos daños a estas importantes fuentes de abastecimiento de agua de la ZMVM. Como respuesta a

esta problemática, el Proyecto UAM – Sierra Nevada propuso desarrollar en la microcuenca un sistema regional de manejo integral de residuos sólidos. En este trabajo, se presentan los avances del estudio de factibilidad para la implantación de una red intermunicipal de centros de acopio de RSM.

El sistema se diseñó para funcionar en tres etapas, en la primera se separarán el PET, HDP, vidrio, cartón, papel, aluminio y otros metales. Los materiales no incluidos en esta lista se comercializarán en la segunda etapa. En la tercera, se diseñará un centro regional de reciclaje.

II METODOLOGÍA

El estudio de factibilidad se integró de:

1. Un estudio de generación y composición de los RSM de los 11 municipios, el cual se hizo de manera directa en 2 municipios y para los otros 9, se extrapolaron datos de estudios de otros municipios del Estado de México, con características similares.
2. Un estudio de mercado de los subproductos, que se realizó en la zona oriente de la Ciudad de México, donde se analizaron las oportunidades que se presentan para la inserción de los materiales separados reciclables:
 - a. Se caracterizó la dimensión y la magnitud, así como las tendencias del mercado.
 - b. Se definieron las características de los subproductos que el mercado demanda y se establecieron las condiciones para introducirse en el mercado.
 - c. Se estudiaron las ventajas que la región presenta.

- d. Se definieron los canales de comercialización y el pronóstico de ventas del sistema.
3. Un estudio de producción, que se realizó después de conocer las exigencias del mercado y las capacidades de generación de los materiales reciclables de la región:
 - a. Se establecieron las características específicas de cada uno de los subproductos que se ofrecerán al mercado.
 - b. Se determinó el número y la capacidad de los centros de acopio.
 - c. Se seleccionó la tecnología necesaria para la operación de los centros de acopio.
 - d. Se determinó la ubicación de la planta.
4. Un estudio administrativo, en el cual se establecieron los aspectos jurídico – administrativos del sistema, la función directiva, la estructura de orga-

nización, los planes y programas de capacitación.

5. Un estudio financiero, el cual se está realizando actualmente para evaluar la factibilidad económica del sistema:
 - a. diferenciando los costos en cada una de las etapas del proceso,
 - b. determinando los presupuestos de inversión, de ventas, de costos y gastos, y capital de trabajo,
 - c. analizando los resultados de cada etapa, y
 - d. ubicando el punto de equilibrio del proyecto.

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Estudio de generación y composición

Para llevar a cabo el estudio de generación y composición, se determinó previamente el número de habitantes de cada municipio de la zona de estudio, datos que se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Cálculo del número de habitantes por municipio

<i>Municipio</i>	año 2000	TCMA *	año 2004	TCMA **	año 2020
Amecameca	45255	1.94	48870	1.11	56435
Atlautla	25950	1.21	27229	1.17	32747
Ayapango	5947	-2.10	5463	0.73	6878
Cocotitlán ***	10220	2.26	11176	1.50	13765
Ecatzingo	7916	2.10	8602	1.50	10662
Juchitepec	18968	4.39	22524	2.01	28241
Ozumba	23592	2.89	26440	1.57	32216
Temamatla	8840	6.65	11437	3.26	16792
Tenango del Aire	8486	0.41	8626	1.10	10562
Tepetlixpa	16863	2.56	18657	1.51	22757
Tlalmánalco	42507	1.89	45813	1.24	54388
Toda la Región	214544	2.20	234055	1.52	289997

Los datos de esta tabla han sido tomados de las estadísticas del año 2000, realizadas por el INEGI.

* **Tasa de Crecimiento Media Anual 2000 - 2003.**

** **Tasa de Crecimiento Media Anual 2000 - 2020.**

*** **Coespo, 2000, INEGI 2000 Censo General de Población y Vivienda, Resultados Preliminares.**

Los municipios fueron caracterizados según su número de habitantes, en tres rubros, como se muestra en la tabla 2.

En la tabla 3 se presentan los resultados de la generación de residuos por municipio, tanto per cápita como a nivel municipal

Tabla 2. Clasificación de los municipios

Rubro	Municipios	Total
Rural	Atlautla, Ayapango, Ecatzingo, Temamatla, Tenango del aire	5
Semirural	Cocotitlán, Juchitepec, Ozumba, Tepetlixpa	4
Urbano	Amecameca, Tlalmanalco	2

Los datos de la composición en subproductos fueron determinados de la misma for-

ma que los datos de generación *per cápita*, los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 3. Resultados de la estimación de la generación de los RSM en la Región

Municipio	Generación per cápita *	Generación total de RSM	RSM ingresados a disposición final **
	kg/hab d	ton/d	ton/d
Amecameca*	0,7292	34,96	33,00
Atlautla*	0,1928	5,19	5,00
Ayapango**	0,8079	4,51	4,80
Cocotitlán*	0,7339	7,50	7,50
Ecatzingo*	0,1269	1,07	1,00
Juchitepec*	0,2109	4,55	4,00
Ozumba*	0,7077	18,19	16,67
Temamatla*	0,5656	6,07	4,80
Tenango del Aire*	0,4730	4,06	4,00
Tepetlixpa ***	0,2964	5,39	5,00
Tlalmanalco*	0,6596	29,66	28,00
Toda la Región	0,5004	113,90	113,77

*Ref. GTZ, 2002

**Ref. Ortiz y Vergara, 2003

***Ref. Carreto y Castillo, 2003

Los municipios estudiados, como se puede observar en la tabla 2, son en su mayoría de características rurales, lo que tiene

consecuencias significativas sobre la composición de los residuos generados, encontrándose entre éstos una fuerte proporción de orgánicos.

Tabla 4. Composición de RSM en la región y sus parámetros de comparación

Subproducto	Tipos de municipio *			Ayapango**	Tepetlixpa***	Zona Centro****
	Rurales	Semirurales	Urbanos	Rural	Semirural	
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Residuos de cocina	31.74	31.76	31.78	23.10	49.33	38.538
Residuos de jardinería	9.90	8.67	7.43	26.55	4.06	7.113
Papel	4.74	8.05	11.36	2.87	8.74	13.684
Cartón	2.44	2.06	1.68	3.00	1.38	1.831
Vidrio	3.42	4.51	5.59	5.87	2.65	9.299
Plásticos	10.04	11.22	12.39	10.56	11.31	3.691
Aluminio	1.22	1.61	1.99	0.68	0.3	1.700
Otros metales	0.00	0.18	0.36	3.96	1.45	1.223
Residuo Fino	20.18	14.06	7.93	No reportado	0.79	3.512
Otros	16.32	18.18	20.03	23.41	19.99	19.409
Los porcentajes están expresados en peso húmedo. *Ref. GTZ, 2002. **Ref. Ortiz y Vergara, 2003. ***Ref. Carreto y Castillo, 2003. ****Ref. SEDESOL, 1999						

En el caso de los municipios clasificados como semirurales, la extrapolación se hizo calculando un promedio ente la generación de los municipios rurales y la de los urbanos.

Con los datos obtenidos en las tablas anteriores, se calculó la cantidad de residuos reciclables generados por cada municipio.

Los datos de la tabla 5 indican que las cantidades de reciclables son bajas salvo en

Amecameca y Tlalmanalco. Además, se reconoce que solamente una fracción de los residuos reciclables generados es recuperable, minimizando todavía más la posibilidad de acopiar cantidades viables en miras de comercialización. Sin embargo, las cantidades generadas por toda la región son dignas de buscar buenas oportunidades entre los mercados de reciclables.

Tabla 5. Cantidad de residuos reciclables generados por cada municipio

Municipio	Papel	Cartón	Vidrio	Plásticos	Aluminio	Otros metales
	(kg/día)	(kg/día)	(kg/día)	(kg/día)	(kg/día)	(kg/día)
Amecameca	4048.3	598.7	1992.1	4415.3	709.2	128.3
Atlautla	248.8	128.1	179.5	527.1	64.0	0.0
Ayapango	69.3	72.4	141.7	255.0	16.4	95.6
Cocotitlán	660.2	169.0	369.9	920.2	132.0	14.8
Ecatzingo	51.7	26.6	37.3	109.6	13.3	0.0
Juchitepec	382.4	97.9	214.2	533.0	76.5	8.6
Ozumba	1506.3	385.5	843.9	2099.4	301.3	33.7
Temamatla	306.6	157.8	221.2	649.4	78.9	0.0
Tenango del Aire	193.4	99.6	139.5	409.6	49.8	0.0
Tepetlixpa	622.9	98.4	188.9	806.1	21.4	103.3
Tlalmanalco	3432.8	507.7	1689.2	3744.0	601.3	108.8
Toda la Región	11522.3	2341.5	6017.5	14468.8	2064.1	493.0

2. Estudio de mercado

El análisis del mercado constituye la base fundamental de este proyecto. Mediante el estudio de oportunidades y riesgos, se establece una expectativa razonable de que el proyecto será capaz de penetrar en los mercados nacionales de comercialización de materiales reciclables provenientes de los RSM, transformando la demanda en facturación. El objetivo es demostrar tanto cualitativa como cuantitativamente la posibilidad de vender los subproductos que generará el proyecto.

Para este proyecto, se consideraron mercados ubicados dentro de la micro región o dentro de la ZMVM. Estos mercados fueron encuestados personalmente y se determinaron los parámetros que a continuación se detallan.

2.1 Dimensión y magnitud del mercado

Los mercados de la ZMVM presentan características similares en su dimensión y magnitud, la cantidad de subproductos que demandan para sus procesos, son prácticamente inagotables, al menos, para la cantidad de subproductos que se acopian actualmente en la ZMVM y sus inmediaciones, p.e. Avangard de México procesa diariamente 500 toneladas de PET y HDP. Por esto, la cantidad de subproductos que la región genere no tendrá ningún problema para encontrar ofertas de compra en el mercado, al menos para los subproductos que se pretenden comercializar en la primera etapa.

2.2 Características de los subproductos y condiciones de los mercados

Los mercados encuestados, muestran características muy similares en el ofrecimiento de oportunidades de comercialización:

- **Mercado de plásticos:** las empresas encuestadas mostraron flexibilidad para la recolección de material en la microcuenca o la recepción en sus propias plantas de producción. El volumen mínimo condicionado varía de 2 a 8 toneladas. Los precios ofrecidos fluctúan desde 60 a 75 centavos por kilogramo, y las formas de pago y facturación van desde los 3 hasta los 8 días después de entregado el material. Para el PET, las características definidas por el mercado, indican que ningún trabajo extra sobre este material le añade valor agregado, y se aceptan los envases con tapón y etiqueta, sin limpiar y no necesariamente aplastados o compactados. Para el HDP, de igual manera que el PET, el mercado indica que ningún trabajo extra sobre el material le añade valor agregado; y se reciben envases con etiqueta, sin limpiar y sin compactación.
- **Mercado de papel y cartón:** las empresas encuestadas, al igual que los mercados de plásticos son homogéneas en los precios, van desde los 40 hasta los 70 centavos por kilogramo, el precio está en función de la calidad del subproducto. En cuanto a la recolección, los mercados se mostraron flexibles, condicionando únicamente un volumen mínimo de acopio que va de 2 a 8 toneladas. Para el cartón, dado su alto peso específico, es necesario compactarlo. El mercado ha sido muy estricto en la cantidad de suciedad o humedad que contenga este material, por lo que queda a la apreciación del mercado el precio de compra. Para el papel bond y el papel periódico, de igual manera se recomienda compactarlos. El mercado ha sido muy preciso en la canti-

dad de suciedad o humedad que puedan contener estos materiales, quedando a la apreciación del mercado el precio de compra.

- **Mercado de vidrio:** este mercado es mucho más limitado en cuanto a número de demandantes, dando como resultado una serie de condicionantes para comercialización, no comunes en los otros mercados. La recolección hasta los centros de acopio no es ofrecida por el mercado, el sistema se ve obligado a entregar el material en la planta de reciclaje, además se tienen que enviar trabajadores para la descarga del vidrio del camión a la planta. Por otra parte, el pago y facturación se realizan hasta 10 días después de la entrega del material. También se han condicionado los porcentajes de composición de vidrio: 90% vidrio transparente y 10% de vidrio verde, no hay especificación con el vidrio ámbar. El volumen mínimo de recepción es de $\frac{1}{2}$ tonelada. El mercado ha especificado que ningún trabajo extra sobre el vidrio aumenta su valor, solamente se debe acopiar vidrio de frascos o envases, de ninguna manera se acepta vidrio de ventanas, parabrisas, espejos, focos, cristalería, etc.
- **Mercado de Metales:** este mercado es muy común dentro de la ZMVM, es talvez el más viejo dentro de la cultura del reciclaje, las opciones son muy variadas pero los precios son homogéneos y van desde los 0.5 pesos por kilogramo de fierro viejo, hasta los 22 pesos por kilogramo de bronce. Sin embargo, aunque éstos son los materiales mejor pagados, su generación es pobre dentro de los municipios. Además, los precios ofrecidos son

los más inestables dentro del mercado, de hecho los precios de compra están sujetos a cambio sin previo aviso. Las latas de aluminio deben contener muy pocas incrustaciones y es conveniente compactarlas. En general, el fierro viejo, el aluminio en chatarra, el bronce y el cobre no se reciben si están asociados con otros materiales, como plásticos, madera, concreto, etc.

Como se puede observar, los mercados de plásticos y papel y cartón son muy accesibles, en cuanto a sus exigencias generales y además son muy estables. La inserción en estos mercados de los subproductos de la micro región será fácil de lograr.

Los mercados de los metales varían constantemente, sin embargo, no demandan mucho trabajo extra a su acopio. Estas características facilitan la puesta en marcha del sistema de acopio.

El mercado más difícil de conquistar es el del vidrio, dadas las pocas opciones existentes, se tendrá que atener a las condiciones de mercado e integrar al balance económico un camión para el transporte de este material.

2.3 Ventajas de la región

Como ya se mencionó antes, la microcuenca de Sierra Nevada es muy cercana a la ZMVM, aproximadamente a 30 minutos de ésta. Desde hace varios años, existe un mercado de los reciclables de la microcuenca hacia la ZMVM, creado por pepenadores y comerciantes de la región, de modo que el interés que presentan los mercados hacia la región, es significativo.

Por otro lado, los pepenadores han mostrado voluntad en participar en un programa

como éste, donde se verían favorecidos al obtener un trabajo fijo, entre otros beneficios.

Las características de los municipios, en su mayoría rural, propician un ambiente de participación ciudadana óptimo para la implantación de un sistema de entrega de residuos separados desde los hogares a los camiones recolectores municipales.

Se ha inculcado, desde años atrás, una cultura ambiental regional por distintas instancias gubernamentales y sociales, que se ve reflejada en la conciencia ecológica, el respeto a los recursos naturales propios de la zona y el sentimiento de identidad con su comunidad que tienen los habitantes.

2.4 Canales de comercialización

A continuación se presentan los canales de comercialización que pretende utilizar el proyecto en comparación con los empleados por los competidores, así como resaltar sus ventajas y desventajas.

Los canales de comercialización, son los siguientes:

- Buscar ofertas del mercado regional o exterior para nuevos subproductos.
- Buscar ofertas del mercado extranjero para los subproductos acopiados y los no acopiados.
- Promover el uso de los subproductos como materia prima en las industrias de la región.
- Promover el uso de subproductos como materia prima para uso de artesanías en la región.

Los canales de comercialización descritos en el paso anterior, tienen las siguientes

ventajas y desventajas con respecto a los competidores:

- La calidad de los subproductos está en función del mercado y este sistema de centros de acopio siempre deberá tener la flexibilidad para satisfacer las exigencias que pueda tener el mercado, sobre cada uno de los subproductos que se decidan acopiar.
- La diferencia de experiencias en la comercialización de estos subproductos en la región es evidente.
- El abanico de posibilidades de comercialización del presente sistema es mas amplio que el que maneja la competencia, estos generalmente carecen de un sistema de ventas establecido.
- El presente proyecto encausa sus esfuerzos a impulsar el desarrollo sustentable de la región, por lo que el desatender la parte económica del proyecto puede llevarlo a una no – viabilidad económica.

Como se puede observar en los canales de comercialización es mejor fijar metas, a corto mediano y largo plazo, esto implica la puesta en marcha del sistema en diferentes etapas, hasta ahora se observa que es conveniente empezar a comercializar con los mercados de fácil acceso y con materiales abundantes dentro de los RSM de los municipios en cuestión. Los materiales no comercializados en una primera etapa deberán introducirse en los mercados en una segunda etapa, donde los mercados de la re-

gión se verían impulsados al uso de subproductos como materia prima.

3. Estudio de producción

Lo sustantivo en la formulación de estudios de viabilidad, en su parte técnica, es llegar a diseñar la función de producción lo mas adecuada posible, para que utilizando los recursos disponibles se obtenga el producto o servicio demandado a costos competitivos.

A continuación se enuncian lo principales aspectos que deberán ser desarrollados con el nivel de profundidad que, tanto el monto de la inversión como la complejidad del proyecto requieran. El objetivo es demostrar que se puede producir con calidad y a costos competitivos a nivel nacional en primera instancia e internacional en segundo termino.

3.1 Características específicas de los subproductos.

Como ya se menciona antes, las características de los subproductos generados por este sistema, están en función de las exigencias del mercado, de modo que, para ver las especificaciones sobre los subproductos, ver el punto no 2.2 Características de los subproductos y condiciones de mercado.

Determinadas las características de los subproductos, se estimaron las cantidades que se podrían recuperar de entre los generados por cada municipio, éstas se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Producción de residuos reciclables recuperables de los RSM municipio

Subproducto	Generación (Kg/día por Municipio)				
	Amecameca	Atlautla	Ayapango	Cocotitlán	Ecatzingo
Vidrio transparente	298,812	26,934	21,732	55,488	5,598
Vidrio verde y ámbar	199,208	17,956	14,488	36,992	3,732
Papel blanco	809,655	49,77	13,86	132,05	10,35
Papel periódico	809,655	49,77	13,86	132,05	10,35
Cartón	299,34	64,05	36,22	84,48	13,32
PET	1271,61	15,18	7,34	26,50	3,15648
HDP	1214,22	14,50	7,01	25,31	3,01
Aluminio (botes)	283,66	25,62	6,57	52,82	5,33
Aluminio (chatarra)	23,091	0	17,211	2,658	0
Fierro	38,485	0	28,685	4,43	0
Bronce	7,697	0	5,737	0,886	0
Cobre	7,697	0	5,737	0,886	0
Subtotal	5263,13	263,78	178,46	554,55	54,85

Continuación Tabla 7 Producción de residuos reciclables recuperables de los RSM municipio

Subproducto	Juchitepec	Ozumba	Temamatla	Tenango del Aire	Tepetlixpa	Tlalmanalco
Vidrio transparente	32,376	126,582	33,186	20,928	28,332	253,38
Vidrio verde y ámbar	21,584	84,388	22,124	13,952	18,888	168,92
Papel blanco	76,48	301,255	61,32	38,68	124,58	686,555
Papel periódico	76,48	301,255	61,32	38,68	124,58	686,555
Cartón	48,93	192,73	78,92	49,78	49,18	253,83
PET	15,35	60,46	18,70	11,80	23,22	107,83
HDP	14,66	57,73	17,86	11,26	22,17	102,96
Aluminio (botes)	30,59	120,5	31,57	19,91	8,55	240,54
Aluminio (chatarra)	1,539	6,063	0	0	18,603	19,581
Fierro	2,565	10,105	0	0	31,005	32,635
Bronce	0,513	2,021	0	0	6,201	6,527
Cobre	0,513	2,021	0	0	6,201	6,527
Subtotal	321,58	1265,12	325,00	204,99	461,50	2565,84

3.2 Número y capacidad de los centros de acopio.

Para determinar las dimensiones que debe tener cada centro de acopio, se determinaron tres áreas generales; la primera es el área de almacenamiento, donde se multiplicó la generación recuperable de reciclables de cada municipio por el respectivo peso específico de cada subproducto (suelto y compactado) y luego se multiplicó por los días de almacenamiento que se requiere para juntar las cantidades mínimas de venta, además se le sumo un área de almacenamiento extra donde se suma dos veces el

área de almacenamiento mas grande. La segunda área determinada es el área de maniobras de recepción y entrega de materiales. Por ultimo se determinó el área de oficinas, estas dos últimas áreas se tomaron como constantes para cada centro de acopio, esto debido a que las áreas de maniobras recibirán camiones de características similares, para las áreas de oficinas la situación es parecida. El área de maniobras es de 25 m² y el área de oficinas es de 20 m² Los resultados se muestran a continuación en la tabla 8:

Tabla 8. Área requerida para los centro de acopio

Municipio	Área de almacenamiento		Área total (m ²)	
	suelto	compactado	suelto	compactado
Amecameca	154,73	15,71	199,73	60,71
Atlautla	20,72	4,21	65,72	49,21
Ayapango	29,52	3,20	74,52	48,20
Cocotitlán	30,21	2,85	75,21	47,85
Ecatzingo	7,78	1,82	52,78	46,82
Juchitepec	20,65	2,71	65,65	47,71
Ozumba	68,91	8,03	113,91	53,03
Temamatla	22,13	2,33	67,13	47,33
Tenango del Aire	29,09	6,82	74,09	51,82
Tepetlixpa	34,53	3,92	79,53	48,92
Tlalmanalco	66,92	6,46	111,92	51,46
Toda la Región	485,18	58,05	980,18	553,05

Como se puede observar, el área total requerida para un centro de acopio regional es muy grande, la disposición de un terreno de estas dimensiones es complicada para un municipio, mientras que para cada municipio es accesible disponer de una área superficial de éstas extensiones.

3.3 Procesos de producción y personal necesario y tecnología y equipo para la operación de los centros de acopio.

Ahora se diferencian por pasos los procesos que se llevan a cabo en un centro de acopio y el personal necesario para realizar estos procesos óptimamente. En la tabla 8 se muestran los procesos y la tecnología y equipo necesarios para cada proceso.

Tabla 8. Procesos y personal necesario para cada centro de acopio

Paso	Proceso	Personal	Horas de trabajo	Equipo
1	Preselección de materiales en el camión	1 persona por camión	8 horas	Equipo de seguridad
2	Recepción de materiales en el centro de acopio	2 personas	8 horas	Equipo de seguridad
3	Pesaje	1 persona	8 horas	Bacula de 500 kg
4	Almacenamiento	2 personas	8 horas	Equipo de seguridad, contenedores y palas
5	Compactado (opcional)	1 persona	8 horas	Compactadora
6	Flejado	1 persona	8 horas	Equipo para flejar
7	Pesaje	1 persona	8 horas	Balanza de 5 toneladas
8	Entrega del (los) subproductos al camión del sistema	2 personas	8 horas	Equipo de seguridad
9	Entrega del (los) subproductos al camión del comprador	2 personas	8 horas	Equipo de seguridad

Es necesario aclarar que las dos personas ocupadas en el paso 2 pueden realizar las actividades de los pasos 4, 7, 8 y 9. El pesaje y compactado de los subproductos los puede realizar un técnico, encargado de la planta. De modo que para el funcionamiento se requiere mínimo de tres personas en la planta más el número de personas que demanden los camiones recolectores de los municipios.

En cuanto al equipo, las compactadoras no son necesarias en todos los casos, solamente es recomendable para los municipios de Amecameca y Tlalmanalco y el equipo de seguridad consta de botas de trabajo, lentes de seguridad y guantes de cuero, para cada uno de los trabajadores que labore en cada proceso de producción.

3.4 Localización de la planta.

Para determinar la ubicación de los centros de acopio, se tomaron cuenta tres factores, el recorrido de los camiones recolectores, la ubicación de los sitios de disposición final y la facilidad de acceso. Al final se determinó que los centros de acopio en general deben estar ubicados en camino a los sitios de disposición final de cada municipio, por las siguientes razones: se ahorra combusti-

ble al no intervenir en las rutas de recolección establecidas, el uso de suelo es propicio para un centro de acopio y regularmente son sitios de fácil acceso para los camiones recolectores.

4. Estudio administrativo

En los centros de acopio es necesario llevar a cabo una serie de procesos que se describen a continuación en la tabla 9.

Tabla 9. Procesos administrativos en un centro de acopio

Paso	Procesos	Parámetros
1	Registro del camión recolector	- No. de camión y su ruta - Trabajadores - Hora de recepción - Fecha de recepción - Observaciones
2	Registro del material que entra a la planta por ciudadanía	- Recibo del tipo y cantidad de material - Pago del recibo
3	Registro del material que entra a la planta por camiones recolectores	- Tipos de productos - Cantidad - Calidad del subproducto
4	Registro del subproducto generado	- Tipo de subproducto - Empresa a que se le entrega - Fecha y hora de entrega - Cantidad que se entrega - Precio de compra - Fecha de pago.
5	Cobro de materiales entregados	- La fecha depende del acuerdo con la empresa contratada - La forma de pago depende del acuerdo con la empresa contratada

Como se puede observar ahora se describen nuevos procesos de trabajo necesarios para un centro de acopio, la contratación de un

administrador que lleve cabo cada una de las funciones antes descritas. De modo que la organización quedaría estructurada como se describe en la tabla 10.

Tabla 10. Estructura de la organización de los centros de acopio

Organismo regional	
Puesto	Funciones
Gerente regional de los centros de acopio	- Determinar el rumbo de los centros de acopio - Observar las tendencias del mercado - Impulsar las etapas siguientes de este sistema - Realizar acuerdos con los municipios - Realizar acuerdos con los mercados - Organizar programas de concienciación ciudadana
Gerente de ventas	- Organizar sistemas de compra y venta - Buscar nuevos mercados para los subproductos generados en la región - Impulsar el uso de subproductos como materia prima en la región
Personal de capacitación técnica	- Capacitar al personal de los municipios - Capacitar al personal que laborará en los centros de acopio
Personal de capacitación ciudadana	- Programas de concienciación en escuelas - Programas de concienciación en juntas publicas - Programas de concienciación a la ciudadanía en municipios
Organismos municipales	
Administrador del centro de acopio	- Administrar del centro de acopio - Registros de los procesos administrativos - Mantener contacto con el organismo regional
Técnico	- Compactar los residuos - Registros de los procesos productivos - Pesaje de los materiales
Personal general	- Realizar procesos de producción, desde la separación, almacenaje y transporte de los residuos
Velador	- Cuidar del centro de acopio durante las horas que no se labore.

Los aspectos jurídico administrativos del sistema aun se están discutiendo, así como los planes y programas de capacitación.

5. Estudio financiero

Las ventas generadas se consideran totales dadas la gran capacidad del mercado meta y las ventas generadas solo dan un resultado viable para solo 2 municipios y un tercero

que ocuparía un tiempo de recuperación de la inversión mayor a 3 años por lo que no es recomendable. No todos los subproductos resultan económicamente factibles de acopiar.

El análisis de sensibilidad muestra que hay que tener especial cuidado en la transparencia del manejo de los metales.

A continuación se presenta en la tabla 11 la relación de costos y ventas que se esperan del sistema.

Tabla 11. Costos y ventas de los sistemas

Concepto	Parámetro
Costos Fijos	Pago a empleados de confianza Gastos administrativos Gastos de ventas y distribución Mantenimiento preventivo Seguro Maquinaria y equipo
Costos variables	Energía eléctrica Impuestos de ventas Combustible Mano de obra directa Renta de maquinaria o transporte Otros gastos variables
Inversión fija	Terreno Infraestructura Muebles equipo de seguridad Maquinaria y equipo Equipo de transporte
Ventas	HDP PET Vidrio Papel Cartón Aluminio Otros metales

IV CONCLUSIONES

La cantidad de subproductos generados en toda la región no son insuficientes para darles un valor agregado, debido a la cantidad de estos materiales introducida al proceso de las empresas recicladoras.

El área total requerida para un centro de acopio regional es muy grande, la disposición de un terreno de estas dimensiones es complicada para un municipio, mientras que para cada municipio es accesible disponer de una área superficial de éstas extensio-

nes. Sin embargo la conjunción de estos centros de acopio es vital para su sobrevivencia económica como integrantes de una cuenca, es decir los volúmenes generados en la región son suficientes para buscar buenos acuerdos de comercialización, no así, para trabajar como municipios independientes, al menos en su totalidad. Los costos totales de un sistema regional son muy elevados y no factibles. El Principal gasto es por el transporte de subproductos desde cada municipio hasta el centro de acopio regional.

El presente estudio, junto con las experiencias locales revelan que es necesario llevar a cabo la integración de un sistema de manejo integral de RSM por etapas bien diferenciadas a corto, mediano y largo plazo, donde cada una de las etapas estará determinada por las características ambientales, sociales y económicas de la región y las características de los mercados meta.

Primera etapa (inicio de la red de centros de acopio)

Esta marca el inicio de una red de centros de acopio, donde se acopiarán de los RSM generados en su municipio correspondiente los siguientes materiales:

- Vidrio (blanco, ámbar y verde)
- Plásticos (PET y HDP)
- Aluminio (botes y en otras formas)
- Cartón (corrugado)
- Papel (bond y periodico)
- Otros metales (aluminio, bronce, cobre y fierro)

El mercado de estos materiales ha sido analizado y evaluado, estos mercados se ubican en la ZMVM, y se ha pactado ya, la forma de

compra - venta de estos mercados con el sistema, donde se acuerda, vender todos los subproductos generados por el sistema, a cambio de aceptar comprar y recoger en cada uno de los centros de acopio que pertenezcan a este sistema al mismo precio con la excepción del vidrio. La mayoría de los mercados son diferentes dependiendo del tipo de subproducto de que se trate. Pero el trato es el mismo. Con esto se pretende formar una relación estable con el mercado, mientras el sistema se encuentra en esta etapa.

En esta etapa se realizaría el acuerdo con los municipios para el manejo y gestión de sus RSM, la compra de los terrenos y el levantamiento de la infraestructura de cada uno de los centros de acopio que empezarán con la primera etapa. La capacitación del personal que se contrate (se pretende contratar a los pepenadores que trabajan ya en la región) y demás personal capacitado por instancias como SEMARNAT.

El inculcar una conciencia ambiental en los ciudadanos es un proceso largo que ya ha empezado, principalmente en escuelas primarias y secundarias de la región, también en juntas con asociaciones ciudadanas. Así mismo el caso de Cocotitlán en que la administración del PVEM del 97 al 2000 realizó un proyecto similar en su municipio con gran aceptación entre los ciudadanos.

Al tiempo que se realiza la dinámica de esta primera etapa, se debe trabajar en el estudio y evaluación de mercados para el aprovechamiento de otros materiales contenidos en los RSM de la región, (véase el punto de

2.4 Canales de comercialización)

Segunda etapa (desarrollo de la región)

Esta etapa tiene básicamente tres objetivos

- Incluir a todos los municipios de la región al sistema de centros de acopio
- Aumentar al máximo el acopio de los materiales reciclables provenientes de los RSM de la región, y
- Fomentar y desarrollar los mercados de la región que utilicen los subproductos generados por el sistema de centros de acopio.

La segunda etapa empieza cuando se empiecen a comercializar otros subproductos y los mercados de la región empiecen a utilizar los subproductos que el sistema genere. El fomento de estos mercados se debe dar desde la primera etapa, en esta segunda etapa, los mercados deben estar convencidas de que el uso de nuestros subproductos pueden ser igual o más factibles para su empresa.

Tercera etapa (centro regional de reciclaje)
Esta etapa es aun mas ambiciosa, donde hay un objetivo principal que es lograr la independencia de los mercados de materiales reciclables, cambiando drásticamente de la comercialización al reciclaje de los materiales reciclables generados en la región. Esto se logra tratando los materiales, acopiados desde un inicio o no, de manera que se logre el acopio y una serie de procesos propios de la industria del reciclaje hasta lograr un producto de características mas útiles al sector industrial y que sea una materia prima de la calidad que el nuevo mercado demande. Ahora el mercado meta no será precisamente de la región, pero se tenderá a seguir desarrollando los mercados regionales

V REFERENCIAS

- Carreto Hernández M. y Castillo Pontaza J. C. (2003). *Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Tepetlaxpa, Estado de México*. Proyecto Terminal de la Lic. en Ing. Ambiental, Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, México D.F.
- Cortinas de Nava C. (2002). *Manuales para regular los residuos con sentido común. Introducción y elementos de técnica regulatoria. Manual 1*. Cámara de Diputados LVIII Legislatura y Partido Verde Ecologista de México.
- GTZ. (2001). *Estudio de generación de Residuos Sólidos Municipales en el Estado de México*.
- GTZ. (2001). *Estudio de Mercado de residuos sólidos reciclables en la Zona Metropolitana*.
- Fondo de Equipamiento Industrial, Banco de México. (2001). *Términos de referencia para la elaboración de estudios de viabilidad*. Serie de documentos técnicos 1.
- INEGI. (2003). <http://www.inegi.gob.mx>
- Lavoie Jacques y Guertin Serge. (2001). *Evaluation of Health and Security Risk in Municipal Solid Waste Recycling Plants*, Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 51, pp. 352 - 360.
- Lund H. (1996). *Recycling handbook of McGraw - Hill*, ed. McGraw - Hill, 1^{ra} edición, pp. 4.1 - 4.27, 7.1 - 7.19, 8.1 - 8.23, 22.1 - 22.17, 29.1 - 29.31.
- Ortiz Conde R. y Vergara Villar H. (2003). *Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Ayapango, Estado de México*. Proyecto Terminal de la Lic. en Ing. Ambiental, Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, México D.F., enero de 2003.
- PNUD - UAM, (2002). *Proyecto de Desarrollo Sustentable para la Sierra Nevada*.
- Secretaría de Ecología del Estado de México, (1998). *Centros de Acopio*, Gobierno del Estado de México - Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología - Dirección general de normatividad y apoyo técnico.
- Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SMA). (2000). Directorio de centros de acopio de la Ciudad de México y Zona Metropolitana.
- SEMARNAT. (1999). *Minimización y Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos*, 1^a Edición, México.
- SEMARNAT. (2001). *Guía para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales*, 1^a Edición, México.
- SEMARNAT - UAM. (2002). *Sistema Regional de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Proyecto estructurador del proyecto piloto de manejo integral de microcuencas en la Sierra Nevada, segunda etapa. .
- Tchobanoglous G. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, ed. McGraw - Hill, 1^{ra} edición, pp. 3-24, 45-113, 183-406, 869-906.
- Wang Hongtao y Nie Yongfeng. (2001). *Municipal Solid Waste Characteristics and Management in China*, Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 51, pp. 240-253.
- Wang Hongtao y Nie Yongfeng. (2001). *Remedial Strategies for Municipal Solid Waste Management in China*, Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 61, pp. 264-272

Sección 6:

Planeación y manejo de residuos sólidos

Manejo de los residuos biológico infecciosos sólidos generados por los profesionales de la salud bucal, en Mexicali, B.C. México

María de Lourdes Montaña Pérez, Alejandro Ceballos Salobreña, Luís Alberto Gaitán Cepeda, Alberto Barreras Serrano

Profesor de la facultad de Odontología de la UABC , Mexicali B.C, México; Catedrático de la Universidad de Odontología de Granada España; Profesor Titular de la Facultad de Odontología de la UNAM México; Investigador del Instituto de investigaciones en Ciencias Veterinarias de la UABC Mexicali B.C, México
email: Lmontano@yahoo.com, ceballos@ugr.es, lgaitan@servidor.unam.mx, abarreras@colpos.mx

Resumen

Con el objetivo de determinar el peso diario promedio de Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos (RPBI) sólidos generados en la práctica odontológica en Mexicali, BC, México y su relación con las variables: sexo, tipo de práctica profesional, ejercer con control de infecciones, formación académica en manejo de RPBI, conocimiento de la Norma Oficial Mexicana sobre manejo de RPBI, clasificación y envasado. Un total de 164 profesionales: 140 dentistas del centro de la ciudad y un grupo testigo conformado por 24 alumnos del último semestre de Odontología-UABC fueron incluidos en el estudio. Se recolectaron los RPBI de cada uno de ellos, además de información a través de un cuestionario. Se contrastaron valores medios entre categorías para cada variable utilizando t de Student y Análisis de Varianza. El peso diario promedio fue de 243 ± 10.27 gr. El grupo de alumnos produjo un valor medio de 283.33 ± 6.69 gr. Sólo se encontraron diferencias estadísticas ($P < .05$) entre el grupo de los que clasifican los RPBI y aquellos que no lo realizan (255.36 ± 12.56 vs 211.20 ± 15.46 gr, respectivamente). Del conocimiento del peso diario promedio de RPBI sólidos y clasificarlos correctamente permitirá definir estrategias para su manejo, para no ser declarados contaminantes del ambiente.

Palabras clave.-residuos peligrosos biológico infecciosos, manejo, odontólogos.

I. INTRODUCCIÓN

Los residuos peligrosos biológico infecciosos (RPBI), son aquellos materiales generados durante los servicios de atención médica que contengan agentes biológico infecciosos (cualquier microorganismo capaz de producir enfermedades cuando esta presente en concentraciones suficientes, en un ambiente propicio, en un hospedero susceptible y en presencia de una vía de entrada), que puedan causar efectos nocivos a la salud, generados en lugares públicos, sociales o privados. (DOF. NOM-087-ECOL-SSA1-2002, publicada en el 2003).

Además, dado que los profesionales de la salud bucal deben de considerar a todos los pacientes, sin excepción, como potencialmente infecciosos (OSHA 3134 1992, DOF. Modificación de la NOM 013-SSA2-1994), la Secretaría de Salud establece que tanto el odontólogo, como el estudiante de odontología, el técnico y todo el personal auxiliar deberán cumplir con todas las medidas marcadas sobre el manejo de los RPBI, para prevenir los riesgos de tipo biológico provocados por el contacto con sangre y secreciones corporales de los pacientes (Modificación a la NOM 013-SSA2-1994).

En México las regulaciones señaladas en la NOM-087-ECOL-SSA1-2002, están dirigidas a proteger el medio ambiente y la salud de la población en general, esta norma marca

de manera puntual el adecuado manejo de los RPBI que consiste en identificación, separación, envasado, almacenamiento, acopio, recolección, transporte, tratamiento y disposición final y al mismo tiempo exime de esta obligación a los centros generadores de residuos biológico-infecciosos que generen menos de 25 Kg. al mes (DOF, NOM 087-ECOL-SSA1-2002, 2003), al no ser obligatorio por ley este cumplimiento, gran parte de los RPBI generados en consultorios médicos y dentales son desechados directamente a los basureros municipales sin ser tratados previamente. Lo cual provoca un incremento en los volúmenes de residuos peligrosos por mezcla de éstos con el residuo municipal, y un aumento en el riesgo de contraer enfermedades en los trabajadores que ahí laboran.

Los RPBI sólidos (punzo-cortantes, no-anatómicos y patológicos), son los de mayor interés en la práctica odontológica; por su capacidad para causar infección y por la gran cantidad de profesionales de la odontología de práctica privada que existen en el país y que los generan de manera inevitable en su práctica diaria.

El objetivo de este trabajo es determinar el peso diario promedio de RPBI sólidos producto de la práctica profesional odontológica en Mexicali, BC, México y su relación con las variables sexo, tipo de práctica profesional (general o de especialidad), ejercicio en la consulta de un programa de control de infecciones, formación académica en el manejo de RPBI, conocimiento de la Norma Oficial Mexicana sobre el manejo de RPBI, clasificación y envasado de RPBI en la consulta.

II. MATERIALES Y METODO

Se realizó un estudio observacional, prospectivo, transversal, descriptivo, en

consultorios dentales de la zona centro de la ciudad de Mexicali, BC., México, y en las clínicas de la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Baja California Campus Mexicali durante el periodo comprendido entre octubre del 2003 y marzo del 2004.

Se tomaron aleatoriamente 140 dentistas localizados en la zona centro de la ciudad, más un grupo testigo conformado por 24 alumnos del último semestre del programa de licenciatura en odontología que se oferta en la UABC.

Se le proporcionó a cada uno de los integrantes de la muestra, un contenedor rojo de polipropileno para envasar residuos punzocortantes, cinco bolsas rojas de polietileno para envasar residuos no-anatómicos sólidos, y una bolsa para envasar residuos patológicos sólidos. Todos debidamente marcados con el símbolo de riesgo biológico y la leyenda de residuo peligroso biológico infeccioso según la Norma Oficial NOM-087-ECOL-SSA1-2002. Se recolectaron por cada participante los RPBI sólidos generados durante cinco días de consulta odontológica. Los residuos fueron pesados y la información capturada en un formato previamente diseñado.

En el grupo conformado por alumnos del último semestre, por cada uno de ellos se recolectaron los RPBI, se clasificaron y pesaron inmediatamente después de cada consulta para no interrumpir con las rutinas de recolección establecidas en la Facultad. Adicionalmente se obtuvo información complementaria a través de la aplicación de un cuestionario en el que se incluyeron preguntas para encontrar factores de asociación con la generación diaria de RPBI sólidos, tales como sexo, tipo de práctica profesional (general o de especialidad), ejercicio en la consulta de programas de control de infecciones,

contar con formación académica sobre el manejo de RPBI, tener conocimiento de la Norma Oficial Mexicana sobre el manejo de RPBI, ejercitar la clasificación y envasado de los RPBI en la consulta. Todas las preguntas presentaron respuestas de naturaleza dicotómicas.

Se obtuvieron estadísticos descriptivos y se contrastaron valores medios entre categorías para cada variable del cuestionario utilizando t de Student y la técnica del Análisis de Varianza. Todos los análisis se realizaron empleando el paquete estadístico SAS 9.1.3.

III. RESULTADOS

Como se observa en el Cuadro1, el promedio general de producción diaria de residuos peligrosos biológicos infecciosos fue de 243.250 ± 10.27 gr con un valor mínimo de 60 gr y máximo de 873 gr. El 72.6 % (119/164) de los sujetos de estudio reportó manejar en su consulta dental la clasificación oficial de residuos peligrosos biológico infecciosos mientras que el 27.4 % (45/164) contestó no hacerlo. En los valores medios para las variables producción de residuos no-anatómicos y producción total diaria se observaron diferencias ($P < .05$) entre aquellos profesionistas que clasifican y aquellos que no lo realizan, mientras que para la variable producción de residuos punzo-cortantes no se observaron diferencias significativas entre ellos ($P > .05$).

El hecho de que 147 sujetos de estudio manifestaron envasar adecuadamente los residuos punzo-cortantes generados de su consulta dental, y 17 sujetos no lo hicieron, produjo valores medios diferentes para las tres variables de producción de residuos diarios, siendo significativos ($P < .05$) entre los dos grupos de comparación para las variables producción de residuos no-anatómicos y

producción total diaria, no así ($P > .05$) para la variable producción de residuos punzo-cortantes (Tabla 1).

En el estudio no se encontró diferencia significativa ($P > .05$) al relacionar la actividad de dentistas de práctica general y especialistas con la cantidad de RPBI sólidos generados por día, al igual que entre sexos, tipo de práctica profesional (general o de especialidad), y formación académica en el manejo de RPBI.

Al analizar si era determinante en la cantidad de peso de residuos generados por día, la condición de ejercitar la atención dental en el consultorio con base en un protocolo de control de infecciones, los resultados no mostraron diferencias ($P > .05$) entre los grupos. Los resultados de la influencia de conocer o no la Norma Oficial Mexicana, 087-ECOL-SSA1-2002 en relación con la cantidad de residuos generados por día, muestra que no hubo una influencia significativa ($P > .05$) por tener conocimiento de ella, por lo que ésta no es un factor determinante en la cantidad de generación de RPBI sólidos.

IV. DISCUSIÓN

Acuerdos internacionales motivados por el análisis del deterioro ambiental inducen las conductas de desarrollo mundial de los gobiernos y de los pueblos hacia el desarrollo sostenible (Consejo Internacional de Tratados Indios 2006)

Los residuos peligrosos biológico infecciosos (RPBI), son uno, de los seis tipos de residuo que en términos de legislación nacional en México son considerados residuos peligrosos (DOF-NOM-052 Semarnat 1993). Residuos que requieren de un manejo adecuado por su peligrosidad y su capacidad de causar lesiones e infecciones si son tratados inadecuadamente. (Castellanos J y Puig L, 1995).

Tabla1. Estadísticos descriptivos, general y para cada contraste en estudio, por tipo de residuo generado en consulta odontológica, en Mexicali, B.C.

Clase	n	Tipo de residuo	media	EE	min	max
General	164	No-anatómico	213.731	10.068	58	837
		Punzo-cortante	31.506	0.822	0	74
		Total diaria	243.250	10.149	60	873
Alumnos vs Dentistas ¹ Alumnos	24	No-anatómico	282.666	6.796	210	340
		Punzo-cortante	29.625	1.074	24	40
		Total diaria	283.333	6.692	214	340
Dentistas	140	No-anatómico	201.914	11.449	58	837
		Punzo-cortante	31.828	0.943	0	74
		Total diaria	236.378	11.743	60	873
Clasifica vs no-Clasifica ¹ Clasifica los RPBI	119	No-anatómico	226.579	12.502	58	837
		Punzo-cortante	31.344	1.048	0	74
		Total diaria	255.369	12.564	60	873
No-clasifica los RPBI	45	No-anatómico	179.755	14.969	66	513
		Punzo-cortante	31.933	1.149	24	58
		Total diaria	211.200	15.461	94	543
Envasado vs no-Envasado ¹ Envasado de los RPBI	147	No-anatómico	220.136	10.860	58	837
		Punzo-cortante	31.639	0.878	0	74
		Total diaria	249.693	10.919	60	873
No-Envasado de los RPBI	17	No-anatómico	158.352	21.060	66	356
		Punzo-cortante	30.352	2.321	8	52
		Total diaria	187.529	22.365	94	406

¹/ Diferentes (P<.05) para las variables no-anatómico y total diaria. No diferentes (P>.05) para punzo-cortante

Se calcula que la generación de RPBI es de aproximadamente 200 toneladas diarias (1.5 kg./cama/día). En contraste con otros flujos de residuos, la capacidad instalada para manejar este tipo de residuos ha crecido rápidamente (de 34% en 1996 al 100% en el 2000, reflejando el apoyo financiero en hospitales y clínicas importantes. Sin embargo, no todos los residuos son tratados adecuadamente. Las instalaciones existentes para su tratamiento se concentran principalmente en el centro del país, dejando a un número suficientemente grande de estados sin

cobertura. Adicionalmente puede citarse que el transporte, almacenamiento y tratamiento de estos desechos no están adaptados a los generadores pequeños ampliamente dispersos en el país. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE, 2003).

En el estudio de residuos a nivel hospitalario presentado por Lladó-Verdejo y García Rodríguez que se efectuó en el 2000 en Tabasco México, reporta 2.24Kg/cama por día, y después de implementar y capacitar al personal del

hospital, sitio de estudio, en el 2001 se reporta una disminución de 0.5Kg/cama /día, manejando un registro de 1.74Kg/cama /día. (Lladó A, 2004).

La propuesta a nivel mundial de ejercer la odontología basada en modelos de control de infecciones o de bioseguridad, contempla regulaciones y protocolos que establecen apartados de manera detallada en cuanto a medidas de seguridad, protección laboral y control de la transmisión cruzada de las infecciones infectocontagiosas, sin embargo poco se menciona en las publicaciones científicas sobre el apartado de generación y manejo de residuos biológico infecciosos; siendo la generación y manejo de estos una realidad en el ejercicio de la odontología en todas sus modalidades (institucional, privada, y practicas escolares).

En el municipio de Mexicali no existe estudio previo que indique la cantidad y manejo de residuos biológico infecciosos generados por los profesionales de la salud bucal. En la revisión de la información publicada al respecto, se encontró que en un estudio reciente de Fuentes Méndez en 2005, realizado en la ciudad de Tijuana Baja California, que trata aspectos relacionados con el manejo de residuos peligrosos biológico infecciosos, pero enfocados no en la generación y manejo de residuos en el consultorios, sino a los riesgos ocupacionales de trabajadores de empresas recolectoras, causados por el manejo inadecuado de estos residuos (Fuentes M., 2005) y otro, realizado por Vázquez Olmedo, también en la Ciudad de Tijuana en el 2005; sobre el conocimiento de estos residuos por el personal de intendencia de tres hospitales del sector publico de esa ciudad.(Vásquez M, 2005) La población de estudio es diferente pues trata de los trabajadores de servicio que

manejan los residuos, que son una de las poblaciones mas expuestas, pero que no son los responsables de la generación, clasificación y envasado de los mismos, sin embargo, tampoco están exentos de la obligación de conocer los lineamientos y disposiciones legales de manejo. (Castellanos y Puig, 1995). Ambos estudios manifiestan la falta de conocimiento e improvisación de parte de las empresas tratadoras de residuos peligrosos infecciosos, hospitales y del personal de intendencia sobre las medidas de prevención, conocimiento de las normas oficiales y la falta de programas específicos para el manejo de residuos.

Los resultados que mostraron significancia estadística al relacionarse con la variable peso diario de residuos biológico infecciosos sólidos, fueron: el que se obtuvo de que los dentistas clasifiquen o no los residuos peligrosos biológico infecciosos en la consulta y el reporte de envasar adecuadamente los residuos punzo-cortantes, acciones que van muy ligadas una con otra; la de clasificar con envasar, sin embargo en los otros dos tipos de residuos infecciosos no se obtuvo la misma respuesta , tal vez porque los punzo-cortantes son residuos peligrosos que por sus características físicas son capaces de ocasionar accidentes en el momento de su generación y manipulación, y no tanto por su concepción infecciosa.

En este estudio, el 75% de la muestra dice ejercitar en su consulta las rutinas y protocolos de un programa de control de infecciones. Y es en el ejercicio de estos programas en la consulta lo que da como resultado la generación y variedad de residuos biológico infecciosos.(Wood PR , 1992 y Maupome G, 1993, Miller Ch, 2000).

Solo 93 (56.7%), de los 164 sujetos conocen las disposiciones de la Norma Oficial Mexicana 087-ECOL-SSA1-2002, que específicamente trata del manejo adecuado de los residuos en cuestión, y apoyando que el conocimiento de la normatividad es parte esencial de cualquier programa básico de control de infecciones. Comparando esta situación con la referida en el único estudio encontrado sobre manejo de residuos peligrosos biológico infecciosos generados en consultorios dentales, realizado por Gómez R en la zona metropolitana del Valle de México(Gómez R, 2004); estudio donde además de presentar similitud con el nuestro sobre la selección de la muestra y el tipo de estudio, encontramos que de su población , solo conocían la Norma Oficial 087 para manejo de residuos biológico infeccioso el 14.4% de los dentistas encuestados.

119 sujetos (72.6%) manifestaron manejar la clasificación de los diferentes tipos de RPBI sólidos generados en la atención dental, nuevamente es un dato que presenta ligera discrepancia con los reportes entre la acción de conocer la Norma Oficial de manejo de residuos 56.7% (RPBI) y manejar la clasificación de ellos, y al igual que en el estudio realizado en la zona Metropolitana de la cd. de México por Gómez R, no se encontró significancia estadística en estas variables analizadas.

El comportamiento de los sujetos en nuestro estudio referente a la acción de envasar adecuadamente los diferentes tipos de RPBI sólidos, arroja, que el 89% envasa los residuos punzo-cortantes, resultado distinto comparado con el realizado en la zona metropolitana del valle de México donde solo el 56% lo hace. Por ley en México los transportes autorizados no recogen los residuos si no

están adecuadamente envasados (DOF Reglamento para el transporte terrestre de RP, 1993). Por otra parte en lo referente al envasado de los residuos no anatómicos y patológicos de nuestro estudio, se reporta que el 64.6% y el 49.4% respectivamente lo hace en recipientes adecuados y oficiales, mientras que lo reportado en el estudio de Gómez García dice que en ningún consultorio revisado se encontró los envases oficiales para ese procedimiento. (Gómez R, 2004)

Las investigaciones referentes a la generación y manejo adecuado de los residuos peligrosos biológico infecciosos se encuentra en desarrollo tanto por organizaciones de salud a nivel mundial como por investigadores nacionales e internacionales, las existentes hasta ahora están más enfocadas a residuos infecciosos a nivel hospitalario, o sea a los macro generadores dejando al margen a los consultorios médicos y odontológicos, por lo reducido de su peso de generación , sin considerar la gran cantidad de consultorios que existen en el país a nivel de práctica privada, y que en la gran mayoría de los consultorios médicos y en el 100% de los consultorios odontológicos se generan residuos peligrosos biológico que deben de ser tratados adecuadamente para minimizar las posibilidades de accidentes e infecciones al personal dental y a la comunidad que tiene contacto con ellos.

Nuevos estudios detallando con mayor precisión los indicadores de manejo de los residuos seria muy recomendable, sobre todo aplicando variables no condicionadas tratando de rescatar información de mayor profundidad.

Es recomendable incorporar en todo el sector salud, sobre todo a nivel de escuelas y facultades el conocimiento y práctica de medidas tendientes a

minimizar y tratar adecuadamente los residuos biológicos infecciosos que se generan en el ejercicio de sus actividades profesionales.

V. SUMARIO Y CONCLUSIONES

- La cantidad de generación promedio de residuos peligrosos biológicos infecciosos que se generan por los dentistas de Mexicali es de .243 kg por día
- El sexo, la institución de origen, el tener en su consulta un programa de control de infecciones, el ser dentista de práctica general o con especialidad, el tener o no formación sobre residuos

peligrosos biológico infecciosos, el conocer o no la normatividad, no fue en este estudio determinante en la cantidad de residuos peligrosos biológico infecciosos sólidos generados por día.

- El hecho de que los dentistas manejen la clasificación de residuos biológicos infecciosos determina la cantidad de generación por día de RPBI sólidos.
- Los residuos punzo-cortantes, es el tipo de residuo biológico infecciosos que mejor manejó la comunidad entrevistada.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Diario Oficial de la Federación. NOM-087-ECOL-SSA1-2002, Manejo de RPBI publicada en 2003
- Administración de la Salud y la Seguridad Ocupacional (OSHA 3134). Departamento del trabajo de los EE.UU. Exposición a patógenos transmitidos por la Sangre en el trabajo, 1992.
- Diario Oficial de la federación. Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SSA2-1994, Para la prevención y control de enfermedades bucales, publicada en 1995.
- Consejo Internacional de tratados Indios. Disponible
URL:http://www.treatycouncil.org/new_page524212222.htm. actualizado sep,2006
- Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana, NOM-052-ECOL-1993 Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, publicada en 1993
- Castellanos J, Puig L. Control infecciosos en odontología. Rev ADM, No.1 Vol 52, Ene-Feb 1995; 17-21
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE. Evaluación del Desempeño Ambiental México, medio ambiente. México, 2003 P. 106-08.
- Lladó A, García JF. Costo efectividad en el manejo de los residuos peligrosos biológico infecciosos en un Hospital General. Salud en Tabasco. 2004;Vol 10(3): 282-287
- Fuentes M. Manejo de residuos biológico-infecciosos por los trabajadores de las empresas recolectoras en la ciudad de Tijuana, B.C. [Tesis de Maestría].Tijuana, México 2005: UABC
- Vázquez M. Conocimiento de residuos peligrosos biológico infecciosos en el ámbito laboral de tres hospitales del sector publico de Tijuana, B.C. [Tesis de Maestría].Tijuana, México 2005: UABC
- Wood P R. Cross Infection Control in Dentistry.USA:Mosby Year Book.1992;p55-73.
- Maupome G, Borges A. Actitudes y costumbres para el control de la infección por VIH y Hepatitis B en estudiantes de odontología. Rev Salud Publica de México Nov-Dic de 1993, Vol.35. No.6 p.642-650.
- Miller Ch, Palenik Ch. Control de la infeccion y manejo de materiales peligrosos para los profesionales de la salud dental. ed Harcourt, S.A. Madrid, España. 2000. p 115-134, 222-29

Diagnóstico y propuestas del manejo de residuos sólidos en el bosque de San Juan de Aragón, México, D.F.

Aurea Ivania Arias Hernández, Georgina Fernández Villagómez
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.
Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Delegación Coyoacán, México D.F.
Email: iqi_ivania_arias@yahoo.com, georginafernandez@cancun.fi-a.unam.mx

Resumen

Sobre el manejo que se le da a los residuos sólidos generados en el Bosque de San Juan de Aragón, BSJA, se dispone de muy poca información debido a que sus autoridades no cuentan con el Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos que la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal exige. Para hacer frente a tal situación, en este trabajo se realizó un diagnóstico básico de la situación actual del manejo de los residuos que permita conocer y definir los problemas relacionados desde la generación hasta la disposición final de éstos y así proveer los elementos técnicos que sumados a los no técnicos permitan la Gestión Integral de los residuos en el bosque.

The authorities of the *San Juan de Aragón* forest don't have enough information about its own solid waste management because they don't have implemented a solid waste plan that Mexican law requires through the *Ley de Residuos Sólidos del D.F.* For this reason, it's necessary to make a basic diagnostic about the actual solid waste management in order to know and define what kind of problems are related from generation up to disposal off, to offer technical and non technical elements that can be the basis of an Integrated Solid Waste Management Program in *San Juan de Aragón* forest.

Palabras Clave – Residuos sólidos, Bosque de San Juan de Aragón México D.F.

I. INTRODUCCIÓN

Hasta 1999 el BSJA fue reconocido únicamente como un espacio de recreación y esparcimiento. Sus funciones como generador de servicios ambientales fueron mermadas por las administraciones que en su momento tuvieron a su cargo la conservación y el mantenimiento de las áreas verdes del DF.

Ante tal situación el Gobierno del Distrito Federal, en el año de 1999 emite el decreto de creación de la Unidad de Bosque Urbanos y Educación Ambiental, UBUEA, instrumento jurídico mediante el cual la administración y el manejo del bosque dejaron de ser responsabilidad de la Delegación Gustavo A. Madero para incorporarse a la estructura orgánica de este nuevo órgano desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, SMA DF (PUEC, 2002).

Bajo este nuevo marco jurídico se otorgó a este espacio la categoría de *Bosque Urbano*, y se establece el proyecto para decretarlo como una Área de Valor Ambiental (SMA, 2002). Sin embargo y pese a las reformas establecidas, siguen existiendo una gran variedad de problemas que aquejan al sitio (vea Figura 1).



Figura 1. Principales problemas del BSJA

Fuente. Modificado de PUEC, 2002.

1.1 Área de estudio

El Bosque de San Juan de Aragón es considerado, por la extensión de superficie que ocupa dentro del Distrito Federal y por los servicios ambientales que ofrece, la segunda área verde más grande e importante de la Ciudad de México, siendo el Bosque de Chapultepec la primera. De acuerdo a la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SMA DF) el BSJA cuenta con una extensión territorial de 162.028 ha,

representando las áreas verdes el 70.94% de ésta.

Esta ubicado dentro de los límites de la Delegación Política Gustavo A. Madero (ver Figura 2), en el extremo norte del Distrito Federal, DF, a una altitud aproximada de 2240 msnm, en las coordenadas de 19°28' de latitud norte y 99° 04' de longitud oeste. Limita al norte con las avenidas 412 y 510; al poniente con las avenidas José Loreto Fabela y Av. 508 y al sur oriente con la Av. 608 (SMA, 2005).



Figura 2. Ubicación del BSJA

El BSJA tiene una superficie de 1, 149,460 m² de áreas verdes, que representan el 70.94% de la superficie total del bosque; en él se encuentra diversidad de flora como son: eucalipto, casuarina, cedro, fresno, pirul, acacia, jacaranda, trueno, algunas palmeras, yucas, aile, olmo chino, la grevilea y algunos arbustos como la retama y el tulipán (Ocampo, 2005. Comunicación personal). Dentro de las principales especies animales se encuentran las siguientes:

- Aves: Existen alrededor de 68 especies tanto residentes (sanato, gorrión mexicano, tortolitas) como migratorias de Canadá (patos, garzas, chinitos, calandrias, mosqueritos).
- Peces: Principalmente carpas.
- Anfibios y reptiles: Como son tortugas, lagartijas ajolotes, serpientes (cincuenta) y el falso escorpión.
- Mamíferos: Entre los que destacan roedores (ratas, ratones), ardillas, y mur-

ciélagos. Sin embargo, los dos primeros representan una amenaza para el Bosque ya que constituyen una plaga.

- Insectos: Existen grillos, caras de niño y aproximadamente 20 especies de mariposas.

Dentro de su infraestructura el bosque cuenta con las siguientes instalaciones (SMA, 2005): nueve accesos peatonales, de los cuales todos excepto la puerta 8 son también accesos vehiculares; áreas verdes, cabañas, ciclopista, tren escénico, espacio escultórico, balneario popular, centro de convivencia infantil, biblioteca, estancia infantil, taller de pintura, taller de educación ambiental, teatro del tío Gamboín, pista de educación vial, pista de patinaje, acuario; sin embargo destaca su Lago.

El Lago tiene una extensión de 120, 000 m² y cuenta con cuatro isletas que son refugio de aves residentes y migratorias. La importancia de este Lago radica en que, aún cuando es artificial, se encuentra entre los de mayores dimensiones de los existentes en el DF. El Lago se alimenta con agua residual tratada proveniente de la Planta de Tratamiento denominada Tlacos. Su pro-

1.2 Delimitación del área de estudio

El BSJA cuenta con diferentes instalaciones, sin embargo algunas de ellas, aún cuando dependen de los recursos económicos que la Dirección del bosque les proporciona, se rigen por su propia administración; en algunos casos el ingreso a éstas implica para los visitantes el pago de una cuota. En este estudio solo se consideran las áreas verdes, vialidades y espacios de acceso libre y/o administrados directamente por la Dirección del bosque, como son: el circuito principal y las vialidades secundarias del bosque, las vialidades de

1.3 Aspecto socioeconómico

Los visitantes que acuden al bosque se pueden clasificar en dos tipos: 1) los que acuden de manera frecuente (por lo menos dos veces a la semana), que sus actividades están asociadas con la práctica deportiva constante (grupos de aerobics, práctica individual o grupal yoga, atletismo, ciclismo, entre otras) y que provienen, en su mayoría de la Delegación Gustavo A Madero; 2) los que lo visitan en fin de semana o durante ésta buscando diversión, recreación y un espacio para salir de la monotonía de sus actividades diarias (grupos esco-

fundidad es de aproximadamente de 0.83 m con un mínimo de 0.50 m y máxima de 1.45 m. Actualmente el lago presenta problemas de azolvamiento debido a la falta de mantenimiento preventivo y correctivo y a la presencia de *basura* (Álvarez Yáñez, 2005) que los visitantes arrojan a este, consecuencia de una falta de educación ambiental.

los nueve accesos, el circuito peatonal del lago, la ciclopista, las áreas verdes, los estacionamientos, el centro de convivencia infantil con todos los servicios que ofrece (biblioteca, talleres, servicio médico, pista de patinaje, estancia infantil, teatro del tío Gamboín), el balneario público, el vivero, las áreas de juegos mecánicos y de oficinas administrativas; excluyendo al acuario y el circuito del tren escénico, áreas que tienen o deberían de tener su propio plan de manejo integral de residuos sólidos.

lares que hacen campamento en el bosque, familias que hacen días de campo o fiesta, etc), y vienen principalmente de los municipios de Ecatepec y Nezahualcóyotl. (Entrevistas a los visitantes y PUEC, 2002).

El comercio, tanto formal como informal es la actividad económica más importante del lugar; este último se ha convertido en una problemática social y de inadecuado manejo de los residuos sólidos que generan, por lo que actualmente las autoridades del bosque están realizando un censo de comercios informales que les permita implementar el Programa de reordenamiento del comercio informal, a través del cual se

buscan establecer derechos y obligaciones de los comerciantes, así como un equilibrio en número y distribución de giros, otorgándoles un permiso de establecimiento y actividad.

1.4 Marco jurídico de gestión de residuos sólidos

El BSJA al estar ubicado en la Delegación Política Gustavo A Madero del Distrito

Federal se rige, en materia de residuos sólidos y de manejo especial considerados como no peligrosos, por la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal; siendo de aplicación supletoria para esta Ley las disposiciones contenidas en otras leyes, reglamentos, normas y demás ordenamientos jurídicos en la materia (ver Figura 3).

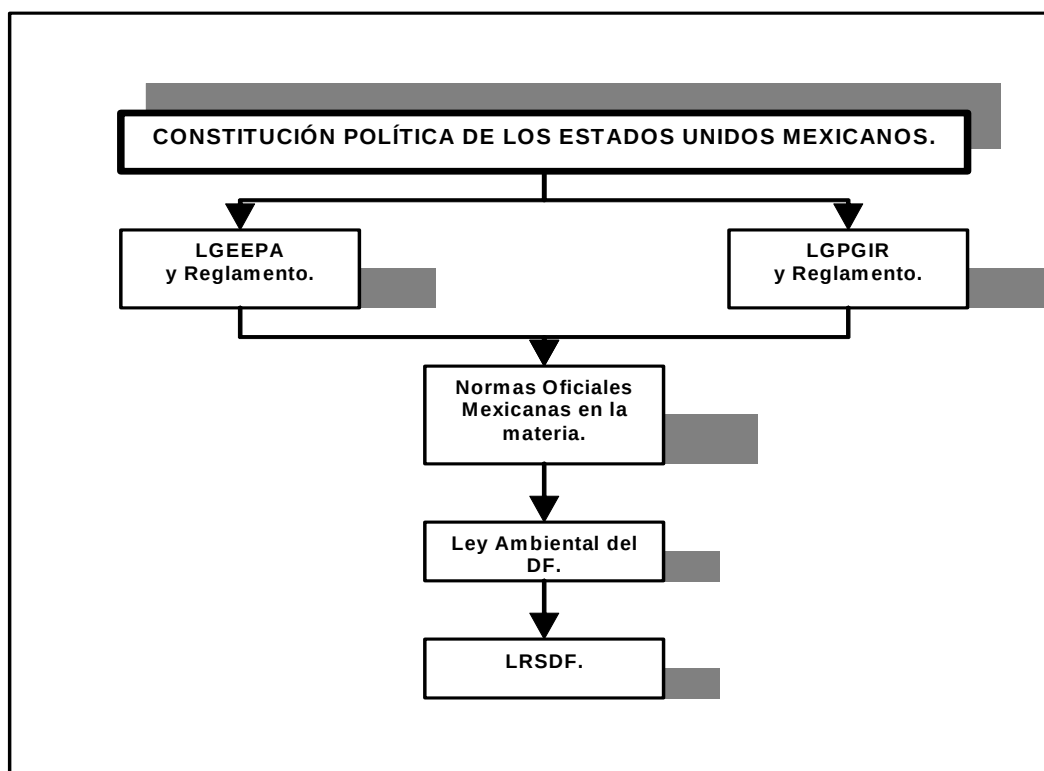


Figura 2. Marco legal aplicable a la gestión integral de RS en el DF.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Como todo diagnóstico de manejo integral de residuos sólidos, el de éste caso de estudio incluyó: 1) la descripción y datos generales del sitio, 2) el estudio de generación del cual se obtienen la cantidad, composición y peso volumétrico de los residuos, 3) el diagnóstico de la etapa de almacenamiento, 4) el diagnóstico del servicio de limpia (recolección y barrido), 5) el

diagnóstico sobre la existencia o no de programas de aprovechamiento de RS, 6) la evaluación de la etapa de transporte y transferencia, y 7) la descripción de la etapa de disposición final.

A continuación se muestra en la Figura 4 el diagrama de flujo de la metodología establecida para el diagnóstico.

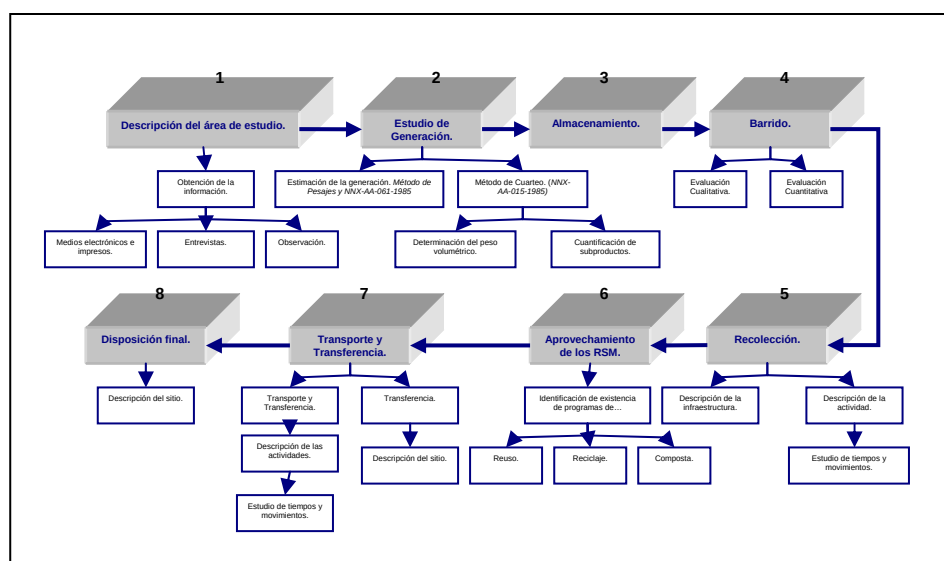


Figura 4. Metodología establecida para el diagnóstico del manejo de RS en el BSJA

La estimación de la generación de residuos en el BSJA se realizó por el método de Pesajes (Tchobanoglous, 1993), además de considerar también a la norma mexicana NMX-AA-061-1985, que establece la metodología para determinar la generación *per cápita* de residuos sólidos en casas habitación. Esta parte del estudio tiene por objetivo conocer la tasa de generación de residuos en unidades de kg/paseante/día; obteniendo este dato es posible proponer mejoras o diseñar el resto del sistema de manejo integral de los RS. La caracterización y determinación del peso volumétrico de los residuos se realizó de acuerdo a las normas mexicanas NMX-AA-022-1985 y NMX-AA-019-1985 respectivamente, basados en el método de cuarteo establecido en la NMX-AA-015-1985. Estos datos resultan de importancia porque con ellos se pueden determinar las condiciones de almacenamiento y diseñar programas de aprovechamiento de residuos (reuso y reciclaje).

En la etapa de almacenamiento se generó un inventario de los contenedores que proporcionó el número de contenedores, su ubicación, la función que cada uno de ellos cumple, es decir si es un contenedor destinado al almacenamiento de residuos orgánicos o inorgánicos y si la está cumpliendo, el tipo de contenedor, su capacidad, material, color, estado de conservación, estado de limpieza, si los contenedores cuentan con información que le indique al usuario en cual depositar sus residuos. Esta información resulta de utilidad para saber si la distribución, capacidad y cantidad de los contenedores son suficientes o hay que adquirir nueva infraestructura.

El análisis de la fase de barrido comprendió la observación y determinación del tipo de barrido, el trazo de las rutas actuales, la frecuencia y horario, eficiencia, equipo y personal de barrido, así como los niveles de barrido, estos últimos evaluados de manera cualitativa.

Para el caso de la etapa de recolección, se incluyó la determinación del método de recolección, la frecuencia, horarios y rutas de recolección, la infraestructura, el número de trabajadores destinados a esta labor; el diagnóstico de esta etapa, junto con la de almacenamiento permite dar solución al continuo problema de desbordamiento de los residuos que se observa en los contenedores y a la mala imagen que esto causa en el bosque. Además, de que sabiendo la cantidad y peso volumétrico de los residuos generados es posible determinar la capacidad y número de vehículos recolectores que satisfagan las necesidades del BSJA.

El diagnóstico de las etapas del transporte, transferencia y la disposición final se basó en identificar al sitio al cuál son llevados los RSM después de su recolección en el bosque, es decir, si son llevados a una estación de transferencia y de ahí a un sitio de disposición final o directamente a este

último. El estudio también determina cuáles son los actuales programas de aprovechamiento (reuso y reciclaje) y educación ambiental que se están llevando a cabo en el área de estudio orientados al tema de RSM.

III. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados más importantes hasta ahora obtenidos del diagnóstico de cada una de las etapas.

3.1 Generación y Caracterización

Con base en el estudio realizado se obtuvo un promedio de residuos sólidos generados por cada día de la semana (lunes a viernes) de 1.460 ton/día y para sábados, domingos y días festivos de 3.77 ton/día, es decir una generación total promedio de 14.84 ton/semana, alrededor de 15 ton semanales.



Figura 5. Estimación de la generación por el método de pesajes.

Los principales subproductos encontrados de la caracterización de son materia orgánica en 49%, inorgánicos reciclables 27%,

inorgánicos para disposición final 22% y residuos peligrosos 2%. El peso volumétrico promedio obtenido fue de 97.18 kg/m³.

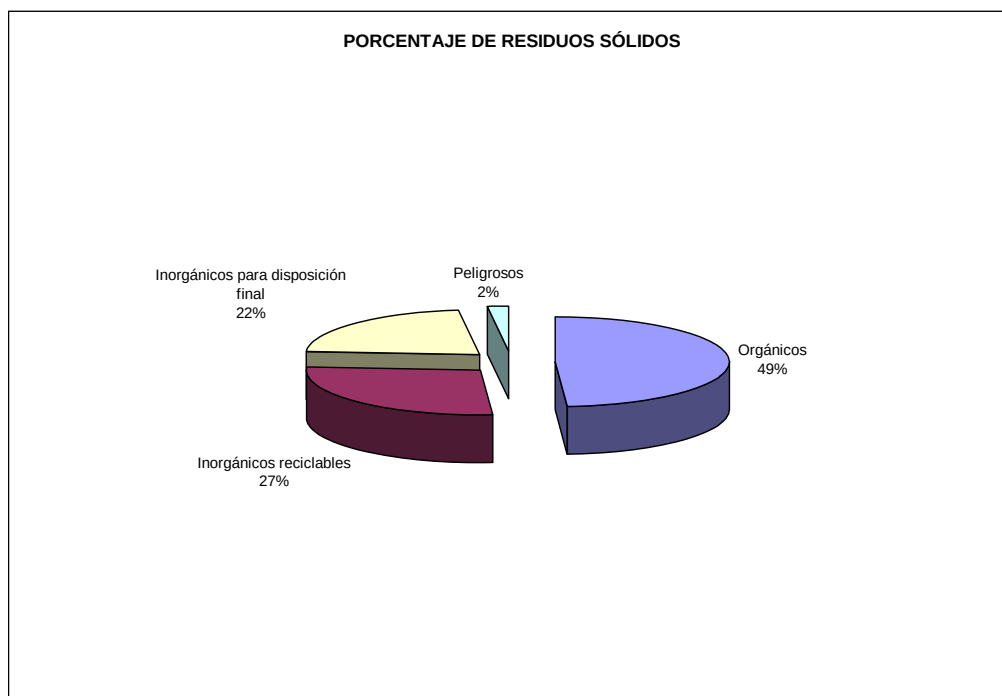


Figura 6. Subproductos encontrados.

3.2 Almacenamiento

Al realizar el inventario de contenedores con que cuenta el BSJA se encontró que de los 180 censados, 36.7% (66 contenedores) están destinados para el almacenamiento

de orgánicos, 36.7% (66 contenedores) para el de inorgánicos y 48 (26.6%) no están especificados (ver Figura 7 y 8).



Figura 7. A la izquierda: contenedores para orgánicos e inorgánicos; a la derecha contenedor que no especifica tipo de residuos a almacenar

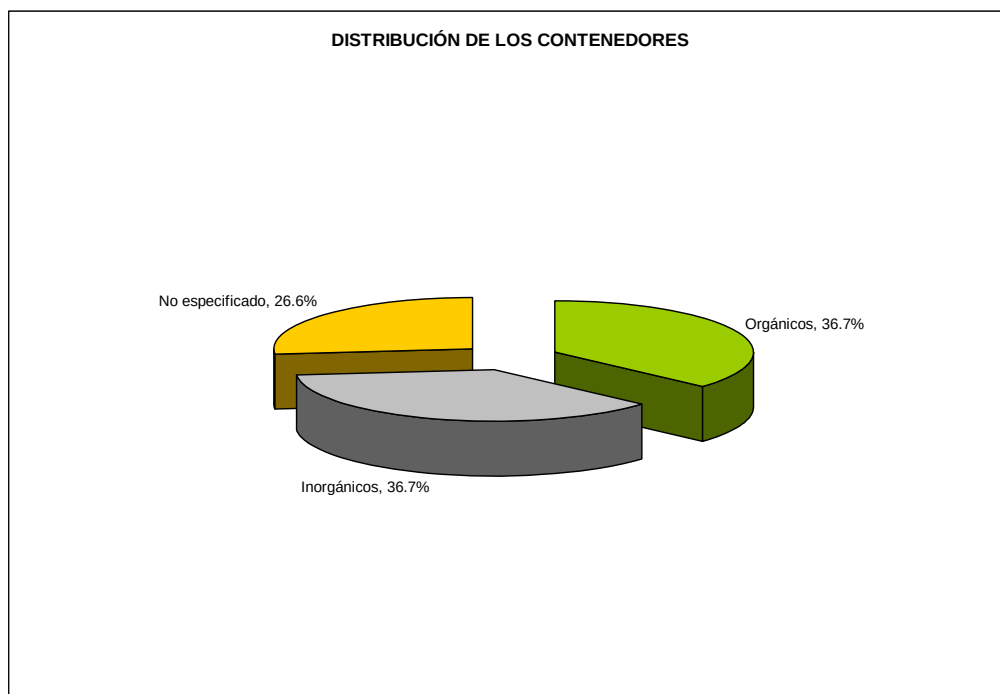


Figura 8. Distribución de los contenedores.

Del total de orgánicos 50 están en buen estado, y 16 en condiciones inservibles; de los inorgánicos 45 están en buen estado y 21 están deteriorados y de los no especificados 26 están en buen estado y 22 en mal estado. De manera general se puede decir

que del total de contenedores el 67% (121 contenedores) presenta las condiciones necesarias para almacenar los residuos, mientras que el 33% (59 contenedores) requieren ser reemplazados (ver Figura 9 y 10).



Figura 9. Condiciones físicas de los contenedores del BSJA.

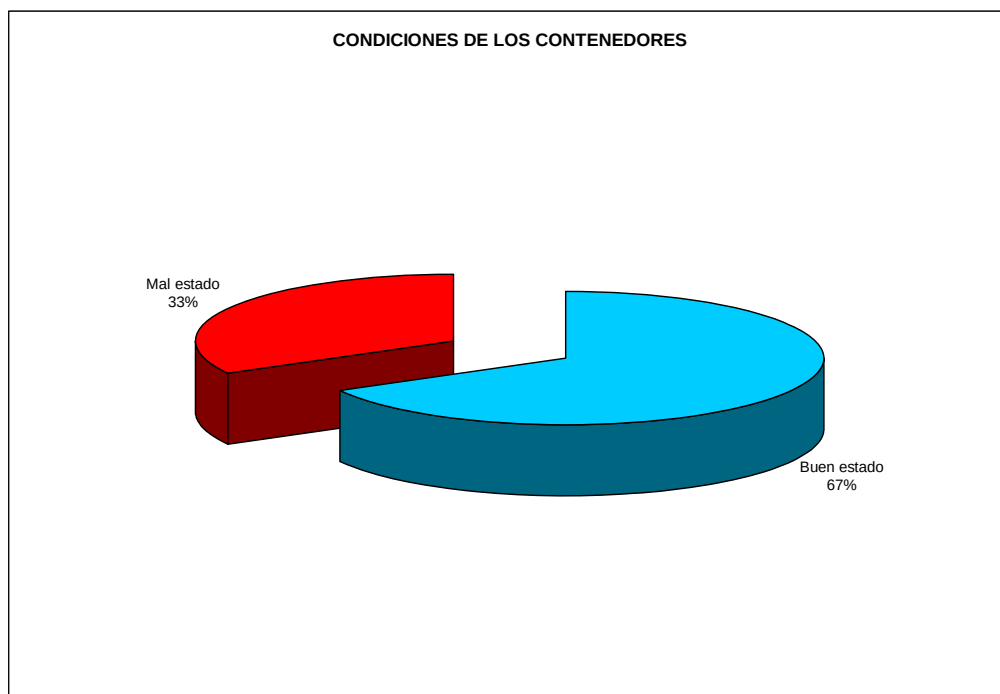


Figura 10. Condiciones de los contenedores.

3.3 Servicio de limpia

Barrido. En la etapa de barrido se identificaron siete rutas de barrido bien definidas y con horarios definidos, sin embargo no

poseen un reglamento de limpia (ver Figura 11).



Figura 11. Ruta de barrido.

Recolección, Transporte y Transferencia. El método de recolección empleado es el método denominado "recolección por contenedor" (ver Figura 12); el período crítico de recolección entre semana es de tres días y para el fin de semana de un día; la infraestructura con que cuenta el BSJA son dos camiones recolectores, uno de volteo

con capacidad de 6 m³ y un compactador de 16 m³, ambos modelo 2000, marca *International* (ver Figura 13); no existen rutas de recolección establecidas, el recorrido se hace según las necesidades del día. El sitio al que son llevados los residuos después de haber sido recolectados es a la

Planta de Aprovechamiento y Estación de Transferencia de Aragón (ver Figura 14).



Figura 12. Método de recolección.



Figura 13. Infraestructura: a la izquierda, camión de volteo; a la derecha, camión compactador.



Figura 14. Planta de separación y estación de transferencia de Aragón.

3.4 Programas de aprovechamiento de RS

El único de los residuos que se recupera es el PET puesto que existe un convenio con “ECOCE”, sin embargo el porcentaje de recuperación de este muy bajo debido a la

falta de difusión del programa y a la existencia de un solo contenedor para el acopio de este material (ver Figura 15).



Figura 15. Contenedor para el acopio de PET.

3.6 Disposición final

Esta etapa que incluyó la investigación del sitio de disposición final al que van a dar todos los residuos que son descargados en la planta y estación de transferencia de Aragón, incluyendo los del BSJA. Este sitio es el relleno sanitario de Bordo Poniente.

IV. DISCUSIÓN

De los resultados anteriores se puede observar que del 100% de los residuos generados en el BSJA, el 76% podría ser aprovechado ya sea como composta (residuos alimenticios y de la jardinería) o como material para venta (PET, latas de aluminio, tetrabrik), y que a disposición final solo irían el 24% (residuos sanitarios y otros que se encuentran en muy pequeña proporción) y que un 2% requiere de tratamiento antes de ser dispuesto por sus características CRETIB (pilas, jeringas, envases de aerosoles).

Acciones como el reciclaje y el compostaje provocarían una disminución en la cantidad de residuos que llegan, primero a la planta y estación de transferencia de Aragón y luego al relleno sanitario; además de que la implementación del reciclaje traería beneficios económicos al bosque, y en as-

pecto social y cultural se consolidaría como un espacio para educación.

Con el valor estimado de generación por día, con el período crítico de recolección, y el peso volumétrico promedio obtenido, se calcula que el número mínimo de contenedores totales que deberían de existir en el BSJA es de 338, 166 para el almacenamiento de orgánicos, 92 para el de inorgánicos reciclables y 75 para el de inorgánicos no reciclables, y se propone el establecimiento de contenedores para el acopio de residuos peligrosos. Al comparar este valor con el número de contenedores actuales se nota la deficiencia en infraestructura que existe en el sitio de estudio.

Con base en los mismos datos de generación, peso volumétrico y período crítico de recolección se obtuvo que el número de camiones recolectores necesarios son cualquiera de las siguientes alternativas: 1) 11 camiones de volteo, 2) 2 camiones compactadores, o 3) la combinación entre ambos de tal manera que satisfagan la necesidad de recolección de 68 m³ para las mismas condiciones de frecuencia de recolección.

V. CONCLUSIONES

Se llevó a cabo el diagnóstico del manejo de los residuos generados en el BSJA y se

hicieron algunas propuestas, dentro de las cuales la más importante es el almacenamiento selectivo, el cual propicia el aprovechamiento de los orgánicos como composta, el reciclaje, y una disminución en la cantidad de residuos para disposición final. Esta propuesta es la base del diseño del resto del sistema de manejo integral de los residuos en el sitio de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en especial a la Dra. Georgina Fernández y al M.C. Constantino Gutierrez. Gracias a los directivos y trabajadores del Bosque de San Juan de Aragón por las facilidades para realizar este trabajo.

REFERENCIAS

- Álvarez Yáñez, P. I. Durán Valdez, G. *Simulación de los contaminantes en el Lago del Bosque de San Juan de Aragón, México DF*, [Versión Electrónica]. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. México, DF, 2005. 71pp
- México, SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE DEL DISTRITO FEDERAL. Programa Sectorial: Programa de Protección Ambiental del D.F, 2002 - 2006, [Versión Electrónica]. Mayo de 2002. México. SMA.
- Ocampo, Y. Flora y Fauna en el Bosque de San Juan de Aragón. Bosque de San Juan de Aragón, México, D.F. Noviembre, 2005. Comunicación Personal.
- Proyecto ejecutivo para la implementación del manejo integral y desarrollo autosostenible del Bosque de San Juan de Aragón, [CD-ROM]. Informe inédito. Programa Universitario sobre Estudios de la Ciudad, PUEC. 2002
- Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Historia del Bosque de San Juan de Aragón, Programa de Saneamiento del Arbolado del Bosque de San Juan de Aragón y Sitios de Interés en el Bosque de Aragón, [Versión electrónica]. México, D.F. SMA. Recuperado el 22 de Agosto de 2005, de <http://www.sma.df.gob.mx/sma/modules.php?name=News&file=article&sid=42>, <http://www.sma.df.gob.mx/sma/modules.php?name=News&file=article&sid=308> y <http://www.sma.df.gob.mx/sma/modules.php?name=News&file=article&sid=43> respectivamente.
- SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Protección al Ambiente - Residuos sólidos municipales - Determinación de la generación. Norma Mexicana. NMX-AA-061-1985
- SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Protección al Ambiente - Residuos sólidos municipales - Método de Cuarteo. Norma Mexicana. NMX-AA-015-1985.
- SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Protección al Ambiente - Residuos sólidos municipales - Peso volumétrico "in situ". Norma Mexicana. NMX-AA-019-1985.
- SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Protección al Ambiente - Residuos sólidos municipales - Selección y cuantificación de subproductos. Norma Mexicana. NMX-AA-022-1985.
- Tchobanoglous, G. et. al. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management. McGraw Hill. 1993. pp. 130

Propuesta de planificación para la gestión integral de residuos sólidos en el estado de Hidalgo, México

¹René Bernardo Elías Cabrera Cruz*, ¹Alberto José Gordillo Martínez** y ²Aurelio Hernández Muñoz

¹Centro de Investigaciones Químicas, CIQ, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, UAEH, Carr. Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Ciudad Universitaria C.P. 42076, Pachuca, Hidalgo, México, Tel. (771)717-2000 ext. 6785, 6786, 6787, Fax (771) 717-2000 ext. 5075, correo electrónico *rcabreracruz@yahoo.com.mx, **gordillo@uaeh.edu.mx

²Cátedra de Ingeniería Sanitaria. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Canales, Caminos y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria S/N. Madrid, España.

RESUMEN

En este trabajo se propone un esquema para planificar la implementación de un manejo integral de residuos sólidos en Hidalgo, México, un estado ubicado al centro del país con una generación estimada de 880,000 toneladas anuales (ton/año) de residuos sólidos urbanos, 156,000 ton/año de residuos peligrosos industriales y 1,630,000 ton/año de residuos de minería. En esta región se carece de una planeación para el manejo de residuos. El modelo obtenido llena esta carencia a través de una serie de etapas que van desde el planteamiento del problema, análisis de la zona de estudio, inventarios de generación, selección de una solución, elaboración de un plan director, aplicación y análisis de resultados, evaluación y retroalimentación del plan a intervalos regulares. La propuesta se visualiza desde la perspectiva de la minimización en la generación de residuos y la mitigación del impacto ambiental adverso provocado por la problemática en el manejo de los residuos. Esta propuesta ayudará a establecer un plan estatal y municipal de manejo de residuos sólidos en el estado.

Palabras clave: residuos sólidos, manejo, minimización,

ABSTRACT

A planning proposal for the implementation of an integral management of solid waste in Hidalgo, Mexico is reported in this paper. Hidalgo is located in the center of the country

with an estimated generation of 880,000 tons per year (ton/year) of urban solid waste, 156,000 ton/year of industrial hazardous waste and 1,630,000 ton/year of mining residuals. This region lacks of planning for waste management. The obtained pattern fills this lack through a series of stages that starts with the position of the problem, analysis of the study area, generation inventories, selection of a solution, elaboration of a managing plan, application and analysis of results, evaluation and feedback of the plan in regular intervals. The proposal is visualized from the perspective of minimization in generation of residuals and the mitigation of adverse environmental impact caused by problems in handling of residuals. This proposal will help to establish state and municipal plans of solid waste management.

Key words: solid waste, management, minimization,

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el impacto producido en el ambiente debido a las actividades propias de la actuación del hombre se ha hecho cada vez más evidente y preocupante. La problemática ambiental presenta dentro de sus múltiples facetas dos vertientes importantes como son un manejo irracional de los recursos naturales y por otro lado un manejo inadecuado de los residuos generados por los diferentes procesos antropogénicos (Doménech 2000; Tchobanoglous *et al.* 1998).

Debido a sus características, los residuos sólidos tienen una especial importancia al presentar una serie de cuestiones tales como: riesgos sanitarios por el peligro de contraer enfermedades o lesiones a través del contacto con residuos dispuestos inadecuadamente, impactos negativos a los cuerpos subterráneos de agua a través de lixiviados producidos en vertederos inadecuados y deterioro y contaminación del entorno de los sitios de disposición (Barradas 2001). La gestión integral de los residuos sólidos ha tomado importancia en los últimos años y se han desarrollado y propuesto sistemas en especial en países y ciudades del primer mundo. En estas naciones, el manejo se ha caracterizado por incorporar alternativas de tratamiento de residuos con tecnologías de punta, desarrolladas a la luz de la minimización de los residuos y al aprovechamiento material y energético de los mismos con una visión de planificación. En la región de América Latina, el manejo de los residuos sólidos presenta una serie de deficiencias debido, entre otros factores, a un gran crecimiento poblacional, una rápida urbanización, falta de infraestructura, escasos recursos económicos y a la ausencia de una planificación dentro marco normativo institucional para responder a esta situación (Villegas 1990).

En el caso de México existe además la necesidad de información respecto a inventarios confiables de generación y disposición de residuos sólidos. Sin embargo, algunos estudios calculan una generación de residuos sólidos urbanos (RSU) per cápita de 1.07 kg/hab/día (kilogramos por habitante por día) y 400 kg/hab/año, tomando como referencia a la ciudad de Monterrey.

La composición de los RSU se estima en (porcentaje en peso, % en peso): fracción orgánica de 43%, papel y cartón 20%, vidrio

8.2%, plásticos 6.1%, textil 4.2%, metal 3.2% y otros residuos inertes 15.3% (Calvo et al 1998). Estas cifras se encuentran en función a los diferentes estratos socioeconómicos de la población además de la influencia de una cultura que fomenta el consumo desmedido. La gestión de los residuos en México se fundamenta en una legislación ambiciosa en sus objetivos (Diario Oficial de la Federación, DOF, 2003, DOF 1996a-1996b, DOF 1993a-1993g, DOF 1995, DOF 2001, Cortinas 2001) pero difícil de aplicar en base a las carencias ya mencionadas.

El estado de Hidalgo no se encuentra exento de esta situación por lo que en el presente trabajo se propone un modelo de planificación para la implantación de un sistema de gestión integral de residuos sólidos en la entidad. Hidalgo cuenta con una población de alrededor de 2,200,000 personas distribuidas en 84 municipios sobre una superficie de 20,905 km². y distribuidas en una pirámide habitacional en núcleos poblacionales donde el 40% corresponde a zonas urbanas y el 60% a áreas rurales. Hidalgo se encuentra localizado en el centro de la República Mexicana entre los paralelos 19°36'30" y 21°23'30" de latitud norte y entre los meridianos 97°58'45" y 99°53'30" de longitud oeste (**Fig. 1**). Su capital es la ciudad de Pachuca de Soto y colinda con los estados de Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz, Estado de México, Tlaxcala y Puebla (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI 2001). Su economía se encuentra basada en gran medida en agricultura y actividades agropecuarias. Cuenta con importantes beneficios mineros destacando las zonas de Pachuca, Molango y Zimapán.

En la parte sur del estado se han instalado una serie de industrias de diversos giros productivos en una serie de parques

industriales (INEGI 1995). Se calcula que se generan 880,000 toneladas anuales (ton/año) de RSU, al menos 156,000 ton/año de residuos peligrosos industriales, RPI (Cabrera-Cruz *et al* 2004) y 1,629,725 ton/año de residuos de minería conocidos como jales (Ángeles-Castillo 2001).

La planificación es una herramienta fundamental en el manejo de residuos (Kundell *et al.* 2000, Mackaye *et al.* 1991, Shah 2000). En el estado de Hidalgo los desechos se manejan de una manera desordenada o tradicional sin una planificación a corto, mediano y largo plazo. Esto se ha visto reflejado en la carencia de una política estatal sobre residuos sólidos. El aumento en el número de habitantes en Hidalgo y sus correspondientes patrones de consumo, crean la necesidad de satisfacer nuevos mercados e incrementan la generación de distintos tipos de residuos sólidos.

Por lo tanto, la problemática relacionada con su gestión adquiere una importancia prioritaria que requiere ser analizada para culminar en una política estatal para la gestión integral de residuos, que algunos estudios señalan como impostergable (Cabrera-Cruz *et al.* 2003). Sin embargo, la experiencia nacional señala que no es suficiente disponer de una serie de lineamientos normativos para que la aplicación de los mismos resulte exitosa.

Entre los objetivos buscados por las leyes y su consecución en la vida cotidiana, existe un vacío que impide resultados óptimos. Ese vacío lo constituye la ausencia de un plan para poder pasar de un manejo tradicional de los residuos a una gestión integral de los mismos. Llenar esta carencia es el resultado buscado por esta propuesta

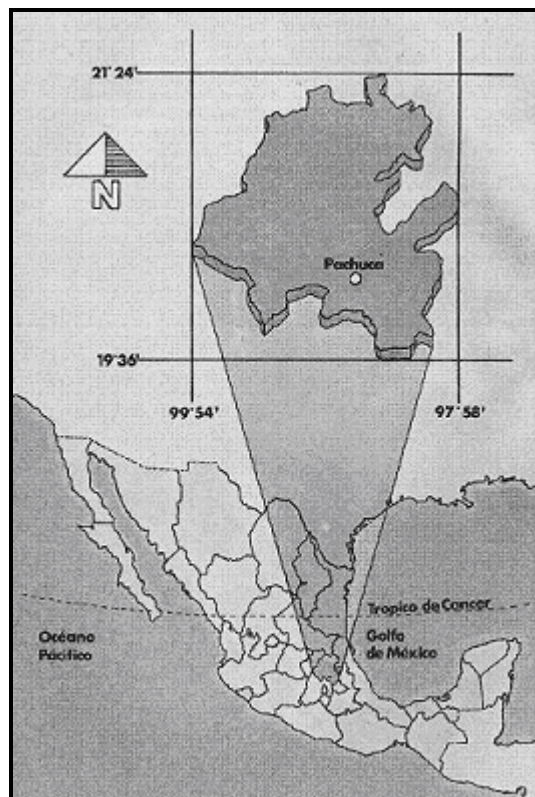


Figura 1. Ubicación geográfica del estado de Hidalgo en la República Mexicana. Fuente: Secretaría de Educación Pública (1992). *Entre selva y milpa, la neblina*. Monografía estatal del estado de Hidalgo. México D.F.

II. METODOLOGÍA

Para elaborar la propuesta se siguen las siguientes etapas.

- i. Descripción del medio físico. En la parte inerte, se consideran aspectos geográficos, fisiográficos, topográficos, geológicos, hidrológicos, climatológicos, meteorológicos y usos de suelo. En la parte biótica, se analizan tipos de vegetación, tipos de suelo, zonas ecológicas, áreas naturales protegidas y presencia de especies de interés.

- ii. Descripción del medio socioeconómico. Se toma en cuenta tendencias demográficas, distribución de la población en los medios urbano y rural, nivel de vida, escolaridad, ocupación y servicios sanitarios.
- iii. Realización de inventarios de generación de residuos sólidos (urbanos, industriales, inertes).
- iv. Análisis del sistema actual de manejo de residuos sólidos en Hidalgo. Se incluyen estudios de infraestructura de recolección, transporte y sitios de disposición final, estudios de disponibilidad de recursos humanos calificados y recursos económicos y un análisis normativo a nivel federal, estatal y municipal en relación al manejo de residuos.
- v. Análisis de un sistema integral de residuos. Se buscan los puntos de coincidencia y las diferencias entre este modelo y la gestión tradicional para identificar las fortalezas y debilidades de la gestión actual de residuos es el punto medular de esta propuesta, desde tres ámbitos: tecnológico-ambiental, económico y social.
- vi. En base a lo anterior, se propone un esquema para planificar la implementación de un sistema de manejo integral de los residuos sólidos en el estado de Hidalgo.

III. RESULTADOS

El esquema de planificación es un modelo para poder pasar de un sistema de gestión de residuos tradicional a la implementación de una gestión integral de residuos sólidos, de modo tal que esta

última resulte efectiva y cumpla con los fines perseguidos por esta visión de manejo. La propuesta contempla las siguientes etapas.

- A. Metas básicas.
- B. Criterios de valoración.
- C. Bases teóricas.
- D. Análisis del problema y su evolución futura.
- E. Políticas alternativas.
- F. Evaluación y selección de solución.
- G. Programación de las acciones y desarrollo de la política adoptada.
- H. Plan Director.
- I. Análisis de resultados.
- J. Retroalimentación.

El establecimiento de una serie de metas a cumplir por la gestión integral de los residuos es el primer paso en la presente propuesta como muestra la **figura 2**. Para conseguirlas es necesario en primer término definir una serie de objetivos de naturaleza técnica, social-sanitaria y económica como los considerados en la **tabla I**. Los objetivos técnicos buscan el establecimiento de una gestión integral que garantice que el manejo de los residuos tenga el menor impacto ambiental posible en base a que la solución encontrada en cada una de las diferentes etapas del proceso sea la óptima desde el punto de vista tecnológico. Los objetivos social-sanitarios persiguen el prevenir al máximo la generación de riesgos sanitarios y con esto una reacción social negativa con el sistema de manejo y tratamiento de los residuales. Los objetivos económicos se plantean para conseguir que el manejo de los residuos sea financieramente rentable y por lo tanto una experiencia exitosa. Para un planteamiento de metas y objetivos acercado a la realidad de la zona de

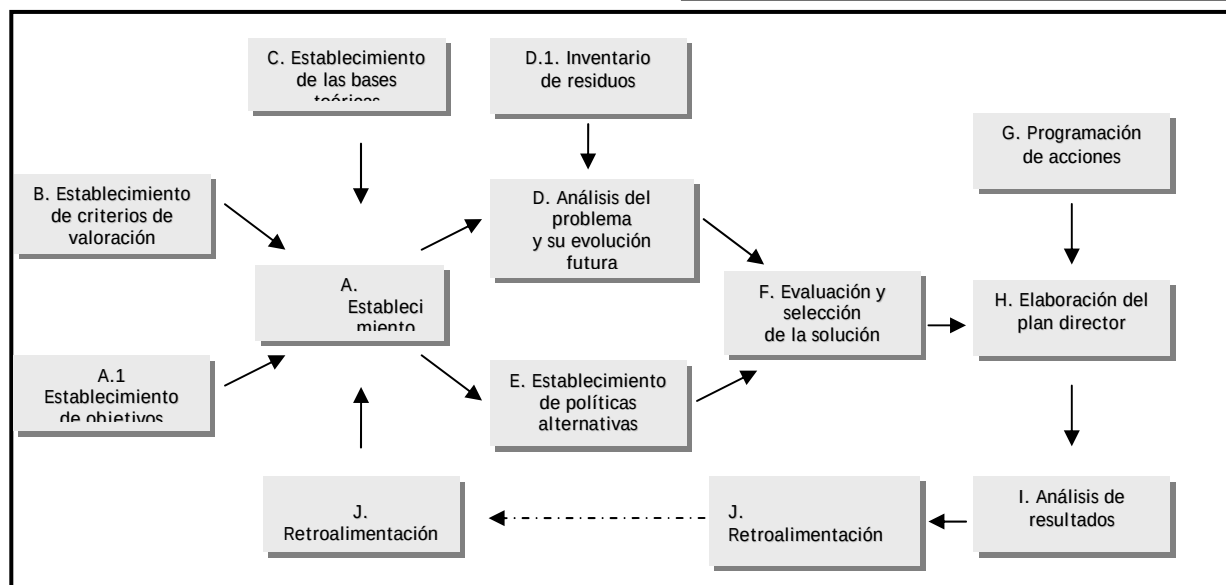


Figura 2. Etapas seguidas en la planificación para la implementación de un sistema integral de manejo de residuos

Tabla I. Objetivos a establecerse para el cumplimiento de las metas básicas

Técnicos	Social-Sanitarios	Económicos
✓ Solucionar problemas de almacenamiento. ✓ Implementación de prerrecorrida. ✓ Optimización de sistemas de recogida y transporte. ✓ Impedir manejo y disposición inadecuada. ✓ Garantizar que las soluciones de ingeniería escogidas sean las más viables. ✓ Definición de una política que incluya aspectos técnicos, económicos y legales. ✓ Establecimiento de reglamentos para todo tipo de residuos. ✓ Gestión integral de residuos. ✓ EIA a la gestión de residuos.	✓ Eliminar posibles focos de infección. ✓ Evitar impactos ambientales sobre la salud pública. ✓ Lograr reutilización sin riesgos sanitarios.	✓ Ubicación adecuada de zonas de asentamiento poblacional. ✓ Minimización de residuos desde origen. ✓ Favorecimiento de reutilización y reciclado. ✓ Optimización de costos. ✓ Evitar pérdidas de suelo o de valor de suelo.

EIA = Evaluación de Impacto Ambiental

estudio, es necesario fijar de antemano los criterios de valoración con los que se medirá la efectividad del modelo integral de manejo de los desechos. A la par, se asentará lo que se denomina en este trabajo como el establecimiento de las bases teóricas que deben considerar la influencia de los aspectos físicos inertes en la zona de estudio, la cantidad y características de los residuos a manejar y los tipos de tecnología disponibles para este fin.

Con el establecimiento de metas, objetivos y respaldo teórico, el siguiente paso consiste en realizar un análisis de la situación de los residuos a la luz de lo ya definido. El análisis deberá incluir aspectos demográficos, físicos, económicos, de comunicación, usos actuales de suelo, etcétera.

Es importante la realización de inventarios por tipo de residuos respecto al sistema actual de manejo además de considerar la evolución en el tiempo de los mismos. A la par, se deben estimar las diferentes alternativas existentes en cuanto a una gestión de residuos y que deben considerar aspectos como la zona en donde se implementará el sistema de manejo, lugar en donde se ubicará la diferente infraestructura incluyendo una posible gestión regional, que sistemas de recogida de residuos se van a emplear, que tipo de zona urbana se presenta, que tipos de vehículos se emplearán y que posibles desventajas o ventajas presentará el terreno, si los residuos servirán para hacer una recuperación nula, parcial o total de materiales y/o energía y por último que carácter tendrá el sistema de gestión (**Tabla II**). En este punto se estará en condiciones de evaluar las diferentes alternativas de solución y escoger la que se justifique más de acuerdo a las características de la zona, en este caso el

estado de Hidalgo. Se escogerá la opción que optimice los costos derivados de su funcionamiento, que contemple los diferentes aspectos ambientales, sociales y económicos y que minimice la generación de residuos. A partir de aquí se podrá realizar un plan director acerca de cómo se irán implementando las distintas etapas de la gestión integral a través de la programación de las diferentes acciones que se deban realizar tendiendo a la institucionalización del modelo de manejo de los residuos. Finalmente, se deberán evaluar los resultados cada cierto lapso de tiempo para planificar de nuevo sobre la base conseguida y mejorar el plan director.

Cada una de las etapas deberá incluir:

A. Metas básicas.

- Evitar la generación de impactos ambientales.
- Minimizar la producción de residuos.
- Proteger los recursos naturales disponibles, mediante la reutilización y reciclado de los residuos. Conseguir los recursos energéticos posibles.
- Optimizar la eliminación final de los residuos.
- Establecer las condiciones técnicas, económicas y legales que faciliten el aprovechamiento, control y gestión adecuada de los residuos.
- Indicar los límites de las técnicas actuales en el tratamiento de los residuos.
- Indicar los límites de las técnicas actuales en la lucha contra los impactos generados por los residuos fomentando la investigación.
- Plantear el problema de los residuos como bien económico de interés común. Ajustar la planificación

territorial a la problemática de los residuos.

- Buscar dentro de las soluciones técnicas adecuadas, las que

representen la máxima rentabilidad de las inversiones dentro de la lucha contra la contaminación.

Tabla II. Políticas alternativas para el manejo de residuos sólidos

OPCIONES A DEFINIR SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS QUE PUEDE PRESENTAR CADA ETAPA DEL PROCESO DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS		
1. En cuanto a las zonas de actuación:	2. En cuanto a los puntos de ubicación y uso del suelos:	3. En cuanto a los sistemas de prerrecogida:
• Según actividades. • Según tamaños. • Según ubicación.	• Alternativas de uso. • Alternativas de desarrollo. • Posibles soluciones regionales. • Limitaciones en el desarrollo.	• Sistemas de prerrecogida. • Recipientes. • Sistemas de almacenamiento.
4. En cuanto a la recogida urbana:	5. En cuanto al transporte:	6. En cuanto al emplazamiento:
• Estructura urbana • Itinerarios. • Horarios. • Sistemas de recogida	• Tipo de vehículos. • Utilización de estaciones de transferencia. • Dotación de personal.	• Accesos y tráfico. • Distancias. • Características geológicas y geotécnicas. • Características hidrogeológicas. • Consideraciones meteorológicas. • Consideraciones geográficas, topográficas, y de superficie y volumen. • Impactos ambientales.
7. En cuanto a la recuperación o no de residuos mediante selección:	8. En cuanto al tratamiento y eliminación	9. En cuanto al sistema de gestión:
• Recuperación parcial. • Recuperación integral. • Sin recuperación.	• Vertedero • Compostaje • Incineración. • Compactación	• Directa. • Indirecta. • Empresa mixta. • Consorcios. • Mancomunidades.

B. Criterios de valoración.

- En base a la legislación relativa a los residuos y a textos reconocidos de ámbito nacional e internacional.

C. Bases teóricas.

- Análisis de la zona en aspectos geográficos, topográficos, geológicos e hidrogeológicos.

- Análisis de las condiciones meteorológicas.
- Análisis de los usos del suelo.
- Aspectos cuantitativos de la producción de residuos.
- Aspectos cualitativos y características.
- Sistemas de minimización, de tratamiento y eliminación, de

selección, de reutilización y reciclado

D. Análisis del problema y su evolución futura.

- Ajuste de la situación actual y futura a la normativa existente.
- La población y su evolución.
- La planificación territorial y urbana.
- La generación de residuos y sus características, en las condiciones actuales y futuras.
- Estudio hidrológico e hidrogeológico de la zona.
- Estudio geográfico de la zona y de su ecología.
- Estudio urbanístico de las vías de comunicación y tráfico.
- Análisis de la gestión de residuos.
- Análisis del control existente.
- Definición de problemas e impactos encontrados.
- Análisis de la información al público y su sensibilización.
- Estudio de la viabilidad económica para financiar equipos e instalaciones, así como de su mantenimiento y explotación.
- Análisis de ayudas externas.
- Ajuste de las soluciones a las necesidades.
- Estudio del mantenimiento y explotación precisos, y la incidencia correspondiente de las obras e instalaciones, de los consumos energéticos y de la necesidad de personal.
- Estudio de la tarifa para la financiación de la gestión integral de los residuos.

E. Políticas alternativas.

- En base a las diferentes alternativas propuestas en la **tabla II** y comentadas anteriormente.

F. Evaluación y selección de la solución. En relación con:

- Impactos ambientales.
 - Limitaciones técnicas.
 - Aspectos legales.
 - Aspectos económicos.
- G. Programación de las acciones y desarrollo de la política adoptada.
- Descripción de la solución adoptada.
 - Etapas de realización.
 - Análisis de viabilidad económico-financiera.
 - Institucionalización.
 - Definición de la organización de gestión.
- H. Plan Director.
- Definición de acciones.
 - Programación en el tiempo.
 - Definición de inversiones.
 - Valoración de los gastos de gestión.
 - Justificación económica para el establecimiento de tarifa de manejo.
 - Implementación de gestión.
 - Implementación legal.
- I. Análisis de resultados.
- Se analizan los resultados obtenidos con la solución adoptada, sometiéndolos a comparación con los criterios de valoración.
- J. Retroalimentación.
- Se señalarán las hipótesis, normas y criterios de valoración, que si sufriesen modificación, obligarían a la revisión del Plan.

IV. DISCUSIÓN

El esquema de planificación se construye desde la perspectiva de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) que busca que los residuos sólidos generen la menor cantidad posible de impactos negativos sobre el ambiente físico inerte y biótico, el paisaje y el medio socioeconómico. Desde esta visión, la gestión integral de residuos sólidos se percibe como una medida mitigadora para prevenir y reducir la

magnitud, la gravedad y la importancia de una serie de impactos, tal razón hace que esta propuesta gire sobre tres ejes principales:

1. Incluir al estudio las dimensiones técnica, social-sanitaria y económica de manera que la gestión de los residuos resulte adecuada desde el punto de vista técnico, no genere rechazo social, sea rentable y de ser posible posea autosuficiencia financiera.

2. Lograr una minimización en la generación de residuos, una valoración de los mismos y una disposición final que tenga el menor impacto ambiental negativo posible. La prevención de futuros impactos tiene una mayor incidencia si se hace énfasis en la minimización de la generación de residuos. En la **figura 3**, se muestra de manera esquemática que si se quiere llegar a un producto final "B" a través de un proceso y partiendo de un material inicial "A" (o una serie de materiales), forzosamente se generarán residuos.

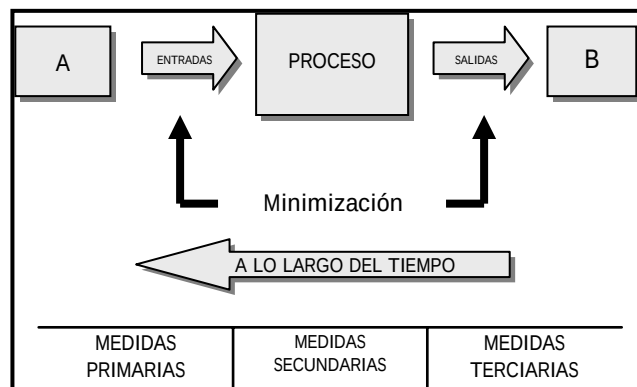


Figura 3. Etapas para implantar la minimización en la gestión de residuos.

Estos subproductos se emitirán en las salidas, durante y en las entradas del proceso. La presente propuesta contempla una serie de acciones divididas en primarias, secundarias y terciarias (**Fig. 4**), propuestas para lograr la minimización en

la generación de residuos (Barradas 2001, Gordillo-Martínez 1999, Coronado-Maldonado *et al.* 1998, Freeman 1998).

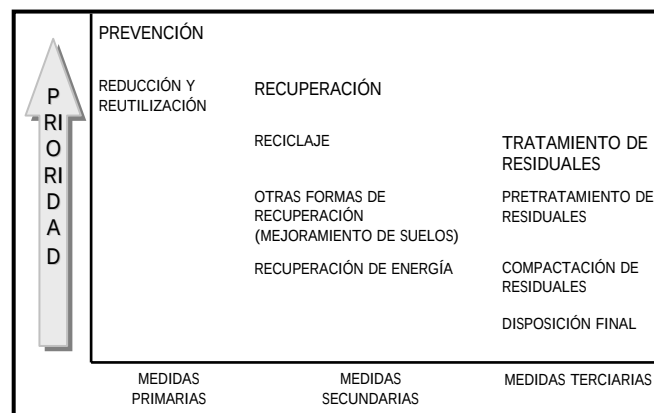


Figura 4. Acciones para conseguir una Minimización de Residuos. Fuente: Adaptado de Barradas 2001.

En las salidas del proceso, cuando ya se tiene un escenario de residuos generados es en donde se empiezan a aplicar las medidas para minimizar residuos, comenzando por las medidas terciarias que se constituyen en el pretratamiento y tratamiento de residuales, compactación y su disposición final teniendo gran importancia las primeras acciones. En una segunda etapa, se aplican medidas tendientes a recobrar materiales y en su defecto energía, de tal manera que se pueda conseguir un menor gasto de estos en el proceso. Finalmente, se emplean las medidas primarias para prevenir la generación de residuos gracias a la reducción y reutilización de los residuos generados. Los tres tipos de medidas se pueden aplicar simultáneamente.

3. Retroalimentar lo planificado en base a los criterios de valoración utilizados. Al realizar un análisis de los resultados obtenidos se podrá reforzar lo que se encuentre bien planteado y se corregirán aquellas metas, objetivos, hipótesis, técnicas o métodos que tras una evaluación se considere que no funcionan

de forma óptima. El lapso de tiempo para evaluar los resultados será cada seis años dejando el último para hacer la retroalimentación y con ella los ajustes necesarios para el siguiente periodo. Esto se propone en función a los periodos sexenales de las administraciones del gobierno estatal.

La presente propuesta sustentará la elaboración de un plan maestro para realizar la implantación de una gestión integral de residuos sólidos y establecerá las bases para una ley estatal para el manejo de estos. Esta ley deberá contar con un reglamento, normas estatales, proyectos de construcción de infraestructura y adecuación de la ya existente incluyendo sitios de disposición final, formación de recursos humanos calificados y campañas de educación ambiental. A nivel municipal, esta propuesta coadyuvará al establecimiento de los lineamientos de un programa municipal de manejo de residuos sólidos urbanos (RSU) adaptándolo a las condiciones de cada municipio del estado pero con una base homogénea que facilite la aplicación y evaluación de resultados. La regionalización del manejo de RSU se debe contemplar como una alternativa en el caso de las áreas rurales y de los municipios con baja densidad de población, para poder financiar las actividades relativas al manejo de residuos. La propuesta contempla una serie de posibilidades para realizar la gestión de estos y para el caso de Hidalgo, un organismo autónomo e independiente a los cambios trianuales de ayuntamientos, optimizaría el análisis de resultados considerando los residuos urbanos y los rurales, empatándolo con los tiempos de

evaluación estatales. La retroalimentación deberá ajustar el programa recomendando realizar dos evaluaciones cada seis años.

V. CONCLUSIONES

El estado de Hidalgo requiere de programas a nivel estatal y municipal para realizar una gestión efectiva y evaluable de sus residuos urbanos y rurales que le permitan mejorar su situación ambiental al mitigar los impactos negativos provocados por esta. Además necesita cumplir a nivel federal con los lineamientos establecidos por la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Al planificar la implementación de estas políticas públicas, se podrá aumentar la calidad de la población. La presente propuesta constituye una herramienta de planeación para alcanzar estos objetivos y se espera que su aplicación genere la base de los programas estatal y municipal de gestión de residuos sólidos en la entidad. La necesidad de institucionalizar la gestión de los residuos en Hidalgo de manera que se posea una independencia financiera lleva hacia la construcción de una estructura legislativa estatal y municipal que deberá modificar la Constitución Política del Estado de Hidalgo, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo, la Ley Orgánica Municipal, la Ley de Vías de Comunicación, la Ley de Fomento Económico y demás leyes, códigos y normas correspondientes e implementar programas de educación ambiental que forjen una conciencia ambiental y una nueva visión de los residuos sólidos. Lo que debe hacerse no solo a nivel estatal y municipal sino dentro de un contexto nacional.

V. REFERENCIAS

- Ángeles-Castillo Y. (2001). Manejo de Residuos Sólidos en el Estado de Hidalgo. En: Memorias del Taller Evaluación y Gestión Ambiental. (F. Rodríguez-Gómez, L. R. Galván-Parra, Coordinadores). Consejo Estatal de Ecología- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca Hgo., pp. 43-54.
- Barradas-Rebolledo A. (2001). Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales. Estado del Arte. Instituto Tecnológico de Minatitlán. Minatitlán, Veracruz. 166 p.
- Cabrera-Cruz R.B.E., Gordillo-Martínez A.J., Cerón-Beltrán A. (2004). Inventario de Residuos Peligrosos Industriales en 17 Municipios del Estado de Hidalgo, México. Rev. Int. Contam. Ambient. 20 (1) 9-16.
- Cabrera-Cruz R.B.E., Gordillo-Martínez A.J., Cerón-Beltrán A. (2003). Inventario de Contaminación Emitida al Agua, Aire y Suelo en 14 Municipios del Estado de Hidalgo, México. Rev. Int. Contam. Ambient. 19 (4) 171-181.
- Calvo R.F., Szantó N.M. y Muñoz J.J. (1998). Situación del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe. Revista Técnica RESIDUOS No. 43. Bilbao, España.
- Coronado-Maldonado M., Oropeza-Monterrubio R. (1998). Manual de Prevención y minimización de la Contaminación Industrial. Panorama. México D.F. 183 p.
- Cortinas-de-Nava C. (2001). Hacia un México sin Basura. Bases e Implicaciones de las Legislaciones sobre Residuos. Grupo Parlamentario del PVEM. Cámara de Diputados, LVIII Legislatura. México D.F. 433p.
- DOF (2003). Diario Oficial de la Federación. Decreto por el que se promulga la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. México D.F. 8 de octubre.
- DOF (2001). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-133-SEMARNAT-2000, Protección ambiental - Bifenilos policlorados (BPCs) - Especificaciones de manejo. México D.F. 10 de diciembre.
- DOF (1996a). Diario Oficial de la Federación. Decreto por el que se promulga la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, México D.F. 30 de octubre.
- DOF (1996b). Diario oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-1996, Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales. México D.F. 25 de noviembre.
- DOF (1995). Diario oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-1995, Que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica.. México D.F. 07 de noviembre.
- DOF (1993a). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993, que establece las características de los residuos peligrosos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. México D.F. 22 de octubre.
- DOF (1993b). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-053-SEMARNAT-1993, que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. México D.F. 22 de octubre.
- DOF (1993c). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-054-SEMARNAT-1993, que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más

- residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993. México D.F: 22 de octubre.
- DOF (1993d). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-055-SEMARNAT-1993, que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto de los radiactivos. México D.F. 22 de octubre.
- DOF (1993e). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-056-SEMARNAT-1993, que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos. México D.F. 22 de octubre.
- DOF (1993f). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-057-SEMARNAT-1993, que establece los requisitos que deben observar en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos. México D.F. 22 de octubre.
- DOF (1993g). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-058-SEMARNAT-1993, que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos. México D.F. 22 de octubre.
- Doménech X. (2000). Química Ambiental. El Impacto Ambiental de los Residuos. Miraguano Ediciones. 5ta. Edición. Madrid. 254 p.
- Freeman H.M. (1998). Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal. McGraw-Hill. 2nd edition. Nueva Cork.
- Gordillo-Martínez A.J. (1999). Investigación sobre la Asimilación y Toxicidad de Metales en Vegetales Producidos en Suelos Mejorados con Lodos de Depuradoras. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 390 p.
- INEGI (2001). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Anuario Estadístico del Estado de Hidalgo. Ags. México, 713 p.
- INEGI (1995a). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Imágenes Económicas. Censos Económicos. Ags. México, 93 p.
- Kundell J.E., Ruffer D.L. (2002). Planning for Municipal Solid Waste Management Programs. En: Handbook of Solid Waste Management (Tchobanoglous G., Kreith F. Eds.). McGraw-Hill, Nueva York. Sección 4.
- MacKaye B., Starzell D.N. (1991). The new Exploration: A Philosophy of Regional Planning. Appalachian Trail Conference. Reprint Edition. 284 p.
- Shah K.L. (2000). Basics of Solids and Hazardous Waste Management Technology. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. 534 p.
- Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S.A. (1998). Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGraw-Hill. Madrid. 1107 p.
- Villegas C.A. (1990). Experiencia Latinoamericana sobre Manejo de Residuos Sólidos. CEPIS. Lima, Perú.

Propuesta para una gestión ambiental de los residuos municipales en México a partir de las experiencias de la Unión Europea

Dra. Ana Carolina Velázquez Patiño
Universidad de Guadalajara
Guadalajara, Jalisco, México
email: xarolina@web.de

Resumen

El presente artículo es un análisis comparativo sobre la problemática actual en cuanto a la generación y gestión de los residuos urbanos dentro de los países de la Unión Europea y México, con el objetivo de ofrecer a la Zona Metropolitana de Guadalajara una propuesta con líneas específicas de acción para corregir el actual sistema de gestión de los residuos. Dicho análisis se ha realizado atendiendo a diversos enfoques teóricos que consideran los cambios sociales, educativos, políticos y económicos como elementos clave para comprender el fenómeno de los residuos como un problema de dimensión global. Se presta una atención especial al uso de principios, gravámenes y tarifas relacionados con los residuos que han comenzado a aplicarse en algunos de los países más desarrollados, pero simultáneamente se resalta la importancia que ha significado la educación y concienciación ambiental de la sociedad para contrarrestar las nuevas necesidades de consumo con la excesiva generación de residuos, principalmente los provenientes del empaque y envasado de los productos.

Palabras Clave – Residuos; Gestión ambiental; Reciclaje; Principios ambientales; Participación social y empresarial.

Abstract

This paper is a critical analysis of the present generation and management of urban waste. The research makes a comparative analysis of the formulas of waste management in different levels: European Union, Germany-Mexico, Hannover-Guadalajara.

The main purpose of the work is to offer a series of strategic directions to correct the

waste management problem in other countries, but specially in the Zona Metropolitana de Guadalajara, Mexico.

The study takes different approaches that consider the social, educative, political and economic changes as crucial elements to correct the complete waste cycle. Special attention is paid to two instruments: the use of charges and taxes to decrease waste generation, and the importance of the education and environmental awareness of the society to rationalize its styles of consumption.

Key words - Domiciliar waste; Environmental management; Recycling; Environmental Principles; social and industry participation.

I. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas el proceso de urbanización de las ciudades mexicanas ha sido muy acelerado, modificándose simultáneamente los patrones de producción, así como las necesidades y consumo de la sociedad. Estos cambios han comenzado a generar un sinnúmero de repercusiones negativas de diferente orden, por ejemplo, el crecimiento de la mancha urbana se ha visto amenazado por la rápida y desorganizada construcción de nuevos centros habitacionales que en tanto se alejan del centro, van perdiendo la calidad en infraestructura, como el servicio de agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, pavimentación de calles, servicios de transporte, escuelas, hospitales, etc. Sin embargo, uno de los problemas que menos atención ha recibido es el relacionado con la gestión integral y sostenible de la también creciente cantidad de residuos

domésticos, que en el mejor de los casos son simplemente enterrados en sitios oficiales con los mínimos controles ambientales.

La Zona Metropolitana de Guadalajara no está exenta de esta situación, lo cual se complica aún más debido a los problemas políticos y sociales aún existentes relacionados con los derechos y las obligaciones que cada entidad administrativa -Zapopan, Guadalajara, Tonalá y Tlaquepaque- sigue teniendo a su cargo, y uno de esos problemas es la recolección y disposición de los residuos.

A lo largo de los últimos veinte años, varios sitios destinados a la disposición de los residuos en la zona metropolitana han tenido que ser clausurados debido a la falta de controles ambientales y a la expansión de la mancha urbana, por ejemplo el relleno semicontrolado "Los Belenes" - actualmente aún utilizado como planta de transferencia- que daba abasto a todo el municipio de Zapopan y en menos de diez años se vio invadido por los nuevos fraccionamientos. La solución que se tomó en aquella época fue la de desplazar el relleno sanitario a una zona más retirada de los centros habitacionales, sin embargo, el problema no ha desaparecido, solamente ha quedado más alejado de la vista y crítica de los pobladores del área concentrada.

En Europa se observan diferentes formas de proceder para resolver el problema de los residuos, y si bien, algunas son de carácter técnico y requieren grandes inversiones, otras recurren a la toma de conciencia y responsabilidades de los gobiernos, de las empresas y de los ciudadanos, es decir, que los cambios se buscan en la actitud de consumo, de desprendimiento y transformación de los residuos.

Uno de los cambios más significativos para mejorar sustancialmente la gestión de los residuos se basa en los sistemas de entrega y recolección domiciliar de los residuos. Mientras que en México aún actualmente casi la totalidad de los residuos son entregados al servicio de recolección sin algún tipo de selección previa (Bernache, 2002; y Castillo Berthier, 1991), en los países europeos éstos son separados desde el momento de su producción, por lo menos en dos fracciones: orgánica e inorgánica. En ciertas regiones se les otorga a los envases de vidrio y al papel sistemas especiales de recolección para dar a cada fracción el tratamiento más adecuado y aprovechar los materiales y la energía contenida en los residuos.

Las experiencias de los países más desarrollados en cuanto a las estrategias seguidas para alcanzar una gestión integral y ambientalmente sostenible de los residuos son interesantes para los territorios con menor desarrollo en materia ambiental, ya que pueden aprender de aquellos mediante una adecuación a la realidad local y desarrollar programas para la gestión de los residuos más eficientes a los actualmente llevados a la práctica. A continuación se presentan algunos ejemplos de la experiencia europea.

II. MODELOS DE GESTIÓN PARA LOS RESIDUOS EN LA UNIÓN EUROPEA

Desde la formación de la Unión Europea en 1957 queda establecida la necesidad de adoptar políticas para hacer un uso prudente y racional de los recursos naturales que garanticen mejorar la calidad del medio ambiente y la salud de las personas. Una vez visualizados los efectos negativos de los residuos, su adecuada gestión se convierte en un imperativo.

En 1975 se aprueba la primera Directiva comunitaria marco de residuos 75/442/CEE, que tiene como objetivos garantizar una gestión segura con la que se minimicen los efectos perjudiciales causados por la recogida, el transporte, el tratamiento, el almacenamiento y el depósito de los residuos. Así mismo se propone hacer un uso racional de los recursos fomentando en primera instancia la reducción y en segundo lugar favorecer la recuperación de los residuos y el aprovechamiento de los mismos como bienes reaprovechables con la finalidad de preservar los recursos naturales.

A partir de esta época cada Estado adopta la directiva y desarrolla su propia política y estrategias para la gestión de los residuos, poniendo siempre especial énfasis en los principios de prevención, responsabilidad del productor y de quien contamina paga.

Cuestiones relativas a la prevención, reciclaje y valorización de los residuos son retomadas en 1982 y una modificación a la directiva sobre residuos introduce como novedad el concepto de *valorización de los residuos* que comprende todas aquellas operaciones que permitan un aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos que deberán ir paulatinamente sustituyendo a la mera eliminación de los mismos. De este modo, quedan establecidos dentro de las políticas comunitarias los tres objetivos fundamentales en relación con la gestión de residuos:

- La prevención y la reducción de la cantidad producida de desechos no recuperables;
- la recuperación, el reciclaje y la reutilización de los desechos, como materias primas y energía; y

- la eliminación inocua y la gestión de los residuos no recuperados.

Este último punto hace referencia a los residuos que no han podido ser reintroducidos en el ciclo de vida de los productos y por tanto deberán ser enterrados. Para ello, la Comunidad Europea publica la *Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos*, que establece una serie de requisitos técnicos y operativos sobre los métodos para el entierro de los residuos con el que se pretende impedir o reducir, en la medida de lo posible, los efectos negativos al medio ambiente, en particular la contaminación de las aguas superficiales, las aguas subterráneas, el suelo y el aire, así como cualquier riesgo derivado para la salud humana, durante todo el ciclo de vida del vertedero.

Tras la publicación de esta directiva queda prohibido que en los vertederos para residuos municipales sean enterradas sustancias que en condiciones de vertido pudieran resultar explosivas, corrosivas, oxidantes o inflamables, así como los residuos procedentes de hospitales u otros residuos clínicos de establecimientos médicos o veterinarios y neumáticos usados.

Un aspecto no menos importante de esta Directiva es la necesidad de *internalizar* los costes de vertido en el canon de tratamiento que incluya los costes de amortización y los de gestión durante el sellado, clausura y rehabilitación de los sitios destinados a la disposición final de los residuos. Se incluyen además requisitos relativos a la entrega y recepción en las plantas ya existentes, así como disposiciones más estrictas relativas al lugar donde deberán establecerse las nuevas instalaciones para la recepción de los residuos municipales, confirmando

importancia a las opiniones de los ciudadanos, quienes deberán ser consultados y tener acceso a la información y participar en el procedimiento de concesión de las autorizaciones.

En 1985 la Unión Europea introdujo medidas para reducir la generación de residuos de envases y embalajes, que se concretaron en la *Directiva 85/339/CEE sobre envases para alimentos líquidos*. Sin embargo, ésta fue demasiado general para ser de utilidad (Careaga, 1993), ya que no definía con precisión términos como “nivel de protección”, ni armonizaba las políticas nacionales de los Estados miembros, por lo que hubo que esperar hasta 1994 para contar con una directiva que definiera las directrices para la producción y eliminación de los envases de consumo humano que incorpora los principios de prevención y fomento al reciclado.

Esta nueva directiva *-94/62/CE sobre residuos de envases-* establece una serie de obligaciones sobre la fabricación y composición de los envases con el objetivo de reducir al mínimo posible la incidencia ambiental de los residuos que se generen una vez que se consuma el producto que contienen, todo ello de conformidad con el principio de responsabilidad del productor. Su aplicación se centra fundamentalmente en la implementación de mecanismos de recogida selectiva de residuos de envases, con la peculiaridad de que tales mecanismos deben necesariamente estar abiertos a la participación de agentes económicos interesados.

En virtud a los anteriores principios, la Directiva establece dos sistemas de gestión de los residuos de envases con los que se hace partícipe a los envasadores en el cumplimiento de los objetivos

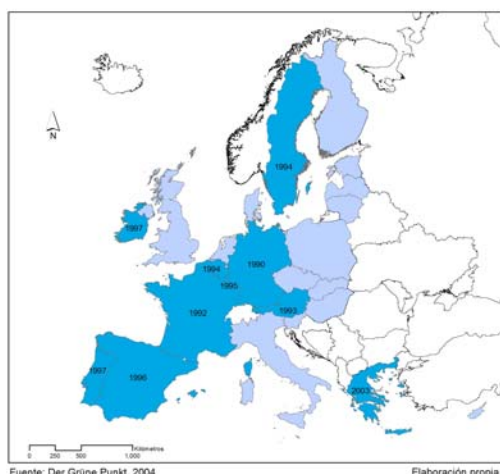
anteriormente señalados, estos sistemas son:

1. Sistema de Depósito, Devolución y Retorno: el responsable de la primera puesta en el mercado del envase cobrará a sus clientes, hasta el consumidor final una cantidad por la correcta gestión del envase y queda obligado a aceptar la devolución del envase retornando la cantidad cobrada.
2. Sistemas Integrados de Gestión: la finalidad de este sistema es que los envasadores, fabricantes, distribuidores e importadores de envases garanticen la recogida periódica de los envases en el domicilio del consumidor y su reciclado. Este sistema será financiado por los productores mediante una aportación económica relativa con la cantidad de envases puestos en el mercado. Esta aportación les dará el derecho a portar un símbolo de identificación que facilite la labor de selección a los consumidores.

Este segundo sistema es conocido en Europa como el Punto Verde que comenzó a funcionar y desarrollarse en 1991 en Alemania, con el nombre de *Duales System Deutschland (DSD)*. Con diferentes peculiaridades y nombres se ha ido extendiendo, y hoy en día es la opción preferida para la gestión de los envases domésticos en Austria, Francia, Bélgica, Luxemburgo, España y más recientemente en Portugal, Irlanda y Grecia. La Figura 1 muestra las fechas, así como los países que se han ido integrando a este sistema dentro de la Unión Europea.

Una de las peculiaridades de la utilización de este sistema es que deja en manos de los ciudadanos gran parte de la responsabilidad para que el programa funcione adecuadamente, de modo que su éxito está condicionado, en gran medida, a la

sensibilización y educación ciudadana recibida para la separación de residuos.



Leyenda
 Con Sistema Punto Verde
 Unión Europea
1993 Año de fundación

País	Nombre del SIG
Austria	ARA
Bélgica	FOST Plus
Francia	Eco-Emballages
Alemania	DSD
Grecia	HE R.R.CO
Irlanda	REPAK
Luxemburgo	VALORLUX
Portugal	Ponto Verde
España	Ecoembalajes
Suecia	REPA

Figura 1. Países miembros del sistema Punto Verde en la Unión Europea

Con el propósito de que la promulgación de las directivas no quede en un plano puramente legislativo, la Comisión Europea (2003) señala la necesidad de crear un enfoque más estratégico para hacer frente a los problemas actuales en materia de medio ambiente, lo que requiere utilizar diferentes instrumentos y medidas que influyan en la toma de decisiones de las empresas, de los consumidores, de los políticos y de los ciudadanos. Se proponen cinco ejes prioritarios de acción estratégica: mejorar la aplicación de la legislación en vigor, integrar el medio ambiente en otras políticas, colaborar con el mercado, implicar a los ciudadanos y modificar sus comportamientos, y tener en

cuenta al medio ambiente en las decisiones relativas al ordenamiento y gestión del territorio, para lo que se retoma la importancia de la aplicación de los principios de cautela y prevención, el de subsidiariedad, el de “quien contamina paga” y el de responsabilidad compartida.

A partir de esta época los tratamientos utilizados para la gestión de los residuos se modifican sustancialmente beneficiados por la colaboración de los tres sectores sociales -gobierno, sociedad, empresa-. En la Tabla 2 se muestra que en un periodo de 12 años la cuota de los materiales enterrados sin un tratamiento previo ha disminuido, mientras que el reciclaje tiende a incrementarse aceleradamente.

Tabla 2. Residuos destinados a los diversos sistemas de tratamiento en la UE

Destino de los residuos	1990	1995	2000	2002
<i>Producidos (Mio. Ton)</i>	444	480	545	566
Enterrados	78,4%	39,6%	31%	25%
Incinerados	21,6%	54,2%	38,2%	41,2%
Reciclaje	---	6,2%	30,8%	33,8%

Fuente: Eurostat Structural Indicators, 2003

Los datos presentados en esta *Figura* demuestran que contar con una firme regulación económica y de mercado -que incluye la imposición de prohibiciones e impuestos- es benéfico para mejorar la gestión de los residuos, y por tanto para la protección del medio ambiente, porque los consumidores se hacen más conscientes de la generación de residuos y porque los productores se ven obligados a tomar decisiones encaminadas al logro de una

gestión más sostenible durante todo el ciclo de producción-eliminación de sus envases. Entre los instrumentos más destacables se encuentra el de la internalización de los costes externos, es decir, lo que antes sólo pagaban las autoridades públicas para la gestión de los residuos, ahora es repartido entre tres agentes: comerciantes y productores, consumidores y autoridades públicas. Esto se ve aplicado directamente en la penalización por realizar una producción que no asegure la prevención de emisiones de contaminantes, en la aplicación de los sistemas de depósito y reembolso, así como los cargos diferenciados al usuario por la cantidad de residuos producidos.

2.1. Métodos de financiamiento para la gestión sostenible de los residuos

Desde que el tema de los residuos ha ocupado un lugar primordial en las políticas comunitarias, el logro más significativo es que éstos han dejado de ser percibidos como un material puramente inservible. Actualmente son considerados como materiales con un gran potencial para la obtención de nuevas materias primas o como energía para la producción de nuevos productos, en otras palabras, son vistos desde una perspectiva más económica y pasan a ser bienes valorados. En cuanto a estos aspectos, el flujo de residuos en los que mayor impacto se ha tenido es el de los envases. La legislación existente sobre éstos marca pautas y metas concretas para alcanzar una producción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente. De igual manera controla la eliminación segura que da preferencia al reciclaje sobre otros tratamientos. Con estas acciones se han logrado notables mejoras, sin embargo, poco se han imitado para controlar otros tipos de residuos, o han tenido poca

trascendencia para la reducción de los montos totales de residuos domésticos. El éxito de las políticas implementadas sobre este tipo de materiales es lo que justifica el hecho de que este artículo acentúe su interés por mostrar los logros obtenidos en el tratamiento de los envases como una fracción importante del total de los residuos domésticos generados.

Es también importante mencionar que en el caso de los residuos domésticos, la fracción de envases es en la que más se puede influir para reducir los montos totales de residuos producidos dentro de los centros urbanos.

El financiamiento de los sistemas para la gestión de los residuos ha sido desde siempre el principal obstáculo y el mayor reto que todo gobierno debe afrontar. La Unión Europea resuelve este problema haciendo referencia a la responsabilidad extendida del productor durante todo el ciclo de vida de sus productos, incluyendo las actividades de devolución, recogida, valorización y recuperación de sus productos puestos en el mercado.

La *Directiva 91/156/CEE sobre residuos* delega la decisión a cada Estado miembro de trasponer el principio de responsabilidad del productor en sus propias leyes, con el fin de acoplarlas a sus propias decisiones de actuación, de este modo cada país tendrá la obligación de decidir quien es el encargado de la gestión de sus envases y los costos que de ello se deriven. Como es posible apreciar en la *Tabla 3* la mayoría de los países ha establecido un sistema de gestión de residuos que incluye la participación conjunta de las autoridades locales y la industria, mientras que el financiamiento ha quedado cubierto casi en su totalidad por los programas desarrollados por y para la industria.

Tabla 3. Responsabilidades operativas y financieras para la recolección y tratamiento de los residuos de envases y embalajes

País	Operación		Financiación	
	Recolección	Reciclado	Recolección	Reciclado
Austria	Industria			
Bélgica	Autoridades locales	Industria	Industria	
Dinamarca	Autoridades locales			
Finlandia	Autoridades locales		Autoridades locales	Envasadores
Francia	Autoridades locales	Envasadores	Autoridades locales y la industria un costo extra por recolección diferenciada	Envasadores
Alemania	Fabricantes y distribuidores			
Irlanda	Autoridades locales	Industria	Autoridades locales	Costos adicionales industria: autoridades 3:1
Italia	Industria y autoridades locales			
Luxemburgo	Industria y autoridades locales		Envasadores, productores	Industria
Países Bajos	Autoridades locales		Autoridades locales	Industria
Portugal	Autoridades locales	Fabricantes de envases	Autoridades locales y envasadores un costo extra por recolección diferenciada	Fabricante de envases
España	Autoridades locales	Industria	Autoridades locales y la industria un costo extra por recolección diferenciada	Costo extra si se vende a precio negativo industria
Suecia	Industria			

Fuente: Der Grüne Punkt, 2004 y Balzarini, 1999

Como es posible apreciar en la anterior *Figura*, la introducción del principio de responsabilidad del productor en las diversas etapas de la gestión de los residuos de envases afecta a las autoridades locales de diversas maneras. En cuanto a la operación es posible apreciar que por lo

general las actividades se llevan a cabo conjuntamente entre autoridades locales e industria, sin embargo la financiación para la recolección y reciclado presenta como regla general tres variaciones (Hogg, 2001):

- En países como Austria, Bélgica, Alemania, Luxemburgo y Suecia, las autoridades municipales conceden

responsabilidad total a la industria u organizaciones específicas para la recolección y reciclado de los envases, con lo que los municipios no tienen que pagar nada por su gestión.

- En otros países (España, Finlandia, Francia, Irlanda, Italia y Portugal) las autoridades realizan una parte de la gestión, pero no cubren los gastos por llevar a cabo la recolección diferenciada, costos que son cubiertos por la industria.
- En países como Dinamarca y los Países Bajos no se presentan fondos establecidos para la recolección de envases. En Dinamarca por ejemplo, los municipios tienen que instalar y coleccionar los residuos de papel y vidrio de los contenedores que existen en la vía pública.

Retomando el principio de responsabilidad compartida, los países de la Unión Europea involucran a la sociedad como factor clave para la disminución de los residuos. Los consumidores tienen varias opciones para hacerse partícipes en esta labor, la más sencilla es evitar el consumo de envases innecesarios, por ejemplo al hacer la compra sustituir las bolsas de plástico por bolsas de tela, elegir aquellos productos que su empaque sea más sencillo y respetuoso con el medio ambiente, así como la utilización de envases retornables. Sin embargo, siempre quedará una cantidad de residuos a consumir y desechar, para ello, las autoridades estatales establecen servicios de recolección que los consumidores se ven obligados a pagar mediante impuestos.

En los últimos años las políticas de casi todos los países de la Unión Europea se dirigen a la utilización de instrumentos económicos para el pago de estos

impuestos, por ejemplo mediante el principio de “quien contamina, paga” (Comisión Europea, 2003). La aplicación de este instrumento se basa en un sistema diferenciado de cobro, “**pagos variables**” o por sus siglas en inglés PAYT (Pay As You Throw) (Hogg, 2001 y Puig, 2003) que dependen del volumen y composición de los residuos generados por cada consumidor. Es decir, mientras más residuos se generen en un domicilio, éste deberá pagar una cantidad mayor por la gestión y tratamiento de sus residuos, y viceversa, quien genere menos residuos pagará menos por estos servicios, lo que ofrece al ciudadano un incentivo económico tangible para reducir las cantidades de residuos consumidos y desechados; a lo que hay que unir un elemento de motivación en la segregación de residuos, ya que por lo general la recogida de materiales reciclables es más económica o gratuita, es decir, este sistema está creado para fomentar la reducción en el consumo y la recogida selectiva de materiales.

Actualmente este sistema de cobro diferenciado se lleva a cabo en Austria, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Luxemburgo, los Países Bajos y Suecia, aunque cada país cuenta con distintas peculiaridades. Austria y Finlandia se basan exclusivamente en el volumen de producción realizado por domicilio y tipo de casa habitación; Suecia y Dinamarca cobran por peso de los residuos producidos, mientras que Francia y Luxemburgo hacen una mezcla de estas dos variables. Por su parte, Alemania y los Países Bajos realizan el cobro diferenciado tomando en cuenta variables como el volumen de los residuos, pero también considerando la periodicidad de prestación del servicio (Eunomia, 2003). La fijación de tasas por parte de las administraciones, una vez que han

considerado la variable reguladora, se basará en aspectos como el sistema de gestión al que serán integrados los residuos, por ejemplo cubrir los costos mínimos de recolección, equipo de contenedores diferenciados por tipo de residuo y el sistema de reciclaje al que se asignarán los residuos (Cortinas, 2002).

Para la Comisión Europea (2003), el empleo del sistema de pagos variables puede verse reflejado de dos maneras, la primera de ellas con una mayor participación ciudadana en los programas de reciclaje y compostaje, que se refleja en un mayor beneficio potencial para las autoridades responsables del manejo integral de los residuos sólidos. La segunda hace referencia a que la elección y compra de productos y servicios generará una cantidad mínima de residuos sólidos, lo que constituye un mensaje muy claro en términos comerciales para los productores, pues el diseño de productos y envases que generen menos residuos sólidos para el consumidor serán los que adquieran un valor mercadotécnico superior.

El objetivo fundamental de los incentivos es el establecimiento de una relación directa y consciente entre la educación de la ciudadanía, el cobro del servicio y el logro de una recolección efectivamente diferenciada. El problema principal está relacionado con la tarea de llevar a cabo la selección diferenciada de los residuos en los domicilios, por eso, para los Estados miembros se ha hecho esencial llevar a cabo campañas educativas en todos los niveles, es decir de manera formal en la escuela; no-formal por medio de los talleres y las ONG's; e informal a través de la televisión, propaganda, radio. Se emplean todos los medios para que la población aprenda y se haga consciente de los beneficios que la recogida selectiva ofrece. De este modo, la educación ambiental es vista como una

herramienta imprescindible para lograr una recogida selectiva de los residuos, que a la vez garantice una gestión más sostenible. Los ciudadanos se saben parte de la realización del proyecto ambiental y participan desde el desprendimiento para que cada material tenga un tratamiento especial según sus características.

Queda claro, pues, que para los Estados miembros la clave para lograr una gestión más sostenible de los residuos radica en lograr que los ciudadanos lleven a cabo una selección de residuos que a la vez garantice el tratamiento diferenciado para cada uno de ellos, esto hace suponer que un cambio en las costumbres de los ciudadanos mejora en gran medida la gestión y los costos de tratamiento.

2.2. Caso Hannover: la gestión integral de los residuos

El caso que se toma para observar con detalle el funcionamiento del servicio de limpieza, recolección diferenciada y manejo de los residuos en las ciudades europeas es Hannover. Situado en el norte alemán se ha elegido por ser una zona metropolitana en la que la gestión de los residuos se lleva a cabo de manera coordinada entre todos sus municipios. Hasta hace pocos años, la recolección y tratamiento de los residuos se realizaba por una dependencia del Estado - *Abfall Wirtschaftsbetrieb Hannover*-, pero desde 2003, el servicio fue concesionado a la sociedad civil no lucrativa *aha - Abfallwirtschaft Region Hannover*-. Estos cambios tan recientes reportan ya transformaciones muy significativas y positivas, destacando el hecho de que casi el 80% de la población participa activamente en la disposición selectiva de sus residuos (aha, 2005).

No obstante, es importante mencionar que el caso presentado no es un hecho aislado,

sino el reflejo de las pautas generales y los cambios más significativos que se desarrollan en los países de la Unión Europea.

Las transformaciones demográficas, económicas y políticas de la región de Hannover fueron las causas principales para considerar una reorganización de sus actividades a partir de la década de los ochenta. No obstante, el proceso de fusión de los sistemas para la gestión de los residuos comenzó hace un par de años. Fue un largo período de complicadas negociaciones debido a que durante mucho tiempo cada municipio había operado con sus propios reglamentos y criterios de actuación. Mientras que en la ciudad de Hannover la gestión de los residuos había sido operada por una empresa pública dependiente de la ciudad y daba prioridad a los proyectos para el tratamiento de los residuos mediante la incineración con recuperación energética, en el resto de la región la gestión se llevaba a cabo mediante empresas privadas o asociaciones anónimas que encontraban un mayor beneficio económico en el reciclaje y el entierro de los residuos. El acuerdo final fue firmado en 2003 por 20 municipios y la ciudad de Hannover. Se acordó de manera unánime la conformación de una sociedad civil no lucrativa -*Zweckverband*-, reconociendo cada una de las partes que sería necesario llevar a cabo un reacomodo en el funcionamiento para la gestión de los residuos en cada municipio, aceptando además que dicho reacomodo debería ser más competitivo, por lo que los municipios con actuaciones más precarias tendrían que ajustarse a las actuaciones de aquellos municipios en los que la gestión de los residuos se llevara a cabo de una forma más competitiva, tal era el caso de la ciudad de Hannover.

La decisión de actuar mediante una sociedad civil no lucrativa tuvo que ver con la búsqueda de una organización que no afectara los intereses particulares de sus integrantes, pero que se ajustaría a las necesidades de actuación común en una zona metropolitana. La sociedad civil se ajustó perfectamente por ser una organización independiente del Estado, que se integra por instituciones y personas jurídicas sin ánimo de lucro, pero con la finalidad de promover y potenciar los intereses comunes para la adecuada, armónica y coordinada, así como también más competitiva, gestión de los residuos en toda la región; además con el objetivo común de mejorar y apoyar la situación de toda la comunidad. Esta nueva organización obtendría, por su parte, el beneficio del intercambio de conocimientos y experiencias para lograr el mejor y el más económico aprovechamiento de los residuos, así como alcanzar la ejecución de investigaciones, estudios, obras o programas sociales que individualmente no podrían realizarse, o sólo podrían alcanzarse de una manera parcial o reducida debido a los problemas financieros que atravesaba la gestión de los residuos en algunos municipios de la región.

Los acuerdos finales a los que se llegó para poner en marcha la gestión de los residuos en la zona metropolitana comprendieron una serie de derechos y obligaciones, no todos ellos de cumplimiento común para todos los municipios, pero sí con la aprobación de todos los integrantes de la nueva fusión. Las actividades de recolección de los residuos, limpieza de áreas públicas y calles, así como el servicio de invierno, quedaron contemplados de la siguiente manera:

- Todas las actividades en la ciudad de Hannover y su región (limpieza de áreas

verdes, recolección, traslado y tratamiento de los residuos) serían administradas por la nueva fusión.

- Todas las actividades administrativas que hasta antes había dirigido cada municipio, serían controladas mediante la nueva fusión.
- Las actividades para la recolección de la bolsa amarilla -envases participantes en el *Punto Verde*-, así como la recolección del vidrio con el método de iglú o la recolección domiciliar del papel, serían actividades que cada municipio podría decidir. Es decir, se dio total libertad para tomar la decisión de transferir la obligación de recolección de esta fracción de residuos a la nueva fusión, o transferir la obligación a una empresa privada, por ejemplo la recolección de la bolsa amarilla por la propia organización de la *Duales System Deutschland*.

El único aspecto que quedó fuera de la coordinación y control de la nueva sociedad civil fue el hecho de que cada municipio continuaría operando con sus propios trabajadores, pero esta vez también integrados a los beneficios del derecho público.

Tras el reacomodo para la gestión de los residuos a nivel metropolitano en la región de Hannover se hizo necesario también un reajuste en el diseño de los tipos impositivos, pues había aún algunas dependencias municipales que recolectaban los residuos municipales sin existir un cobro explícito a los ciudadanos. El tipo de gravamen para los usuarios quedó establecido según los criterios que ya venía utilizando satisfactoriamente la ciudad de Hannover, en los que la base imponible se ajusta anualmente mediante la estimación de los residuos generados en cada

domicilio, es decir que se calcula a través de las "tasas variables de producción" (Puig, 2003).

El diseño de la cuota tributaria considera también la importancia que tiene la separación en origen de los residuos, pues se espera que cuando ésta cubra un porcentaje mayor y de mejor calidad, será posible apreciar también un mayor beneficio en la valorización y el reciclaje de materiales, así como una repercusión favorable en el uso de los rellenos sanitarios.

Como tercer factor en el diseño de la cuota tributaria se consideran los costos administrativos y los generados por llevar a cabo programas de divulgación y toma de conciencia ciudadana. Por lo tanto, la fijación de la cuota para la prestación del servicio de limpieza involucra los siguientes elementos:

- Una tarifa básica según el volumen de producción de cada casa habitación, aplicando el principio de "quien contamina paga" como criterio de eficiencia y el principio de equidad, pues debe de pagar más quien más desechos genera.
- Costos generados por la recolección a domicilio, la operación de rellenos sanitarios -incluidas la depreciación y financiación-, los equipos utilizados para llevar a cabo tales funciones y servicios de eliminación y transporte. Se incluyen en esta categoría también los rubros de administración, divulgación y los costos por el cobro de las tarifas.
- Un reajuste a las cuotas según los beneficios obtenidos por el aprovechamiento y rentabilidad de los residuos.

Los cambios operados en la prestación del servicio provocaron en un inicio incrementos en los costos generados para su gestión, sin embargo estos han sido afrontados y se resuelven favorablemente. La concesión a la empresa privada para que sea ésta quien realice la recolección y tratamiento de ciertas fracciones de los residuos fue la primera alternativa empleada para minimizar los gastos del Estado.

Actualmente la región concesiona el servicio de recolección y tratamiento de los envases de vidrio a la empresa *Rhenus-WTAG*. El papel y el saco amarillo son propiedad de la *Duales Sytem Deutschland*. De esto modo, la administración pública -a través de la sociedad civil no lucrativa *aha*- es responsable únicamente de solventar los gastos de recolección y tratamiento de los residuos biodegradables y de la fracción comprendida como "restos".

La sociedad civil *aha* lleva a cabo otras actividades dirigidas a la ciudadanía con el fin de facilitar la labor de separación de los residuos. De manera gratuita se recolectan muebles viejos, colchones y algunos otros residuos voluminosos. Este servicio requiere únicamente hacer una solicitud previa y disponer de los residuos fuera del domicilio en la fecha y hora acordada. Esta nueva facultad del servicio de limpieza fue implementada debido a que los empleados para la recolección de residuos, por más que se les penalizara su conducta, tiraban por el camino -debido a la falta de espacio- todos aquellos materiales o residuos voluminosos que saturaban los camiones y les impedía cubrir plenamente la ruta que les había sido asignada.

Se abren también varios centros de acopio "*Recyclinghof*" a los que los ciudadanos pueden acudir regularmente a depositar

todos aquellos materiales voluminosos o peligrosos que ya no les son útiles en el hogar, así como residuos orgánicos, electrodomésticos, especiales, neumáticos viejos, reciclables como papel, vidrio, etc., que no han sido recolectados por el servicio normal de limpieza.

Es también preciso decir que el cobro de tributos no ha sido el único factor motivante para que los ciudadanos lleven a cabo una mejor separación de sus residuos, esto se debe también en gran medida a las campañas de toma de conciencia que se han llevado a cabo durante varios años. En los últimos años estas campañas se han intensificado y se realizan principalmente por las empresas encargadas de la recolección y tratamiento de residuos. Un buen ejemplo es la *Duales System Deutschland*, que dirige sus campañas al público en general a través de los medios masivos de comunicación, de esta forma, el ciudadano común se informa y entra en contacto con la problemática. Además de los medios de comunicación, las empresas han logrado llegar a las escuelas, donde se llevan a cabo actividades que plantean tanto temas globales como cuestiones ambientales locales, de salud y seguridad (Empacher, 2002) principalmente encaminados a la realización de actividades para la separación diferenciada de los residuos. Asimismo, se organizan periódicamente visitas a los rellenos sanitarios, a las plantas tratadoras de residuos, empresas de reciclaje y a otras plantas de recuperación y compostaje, con el objetivo de que los ciudadanos vean lo que realmente las empresas y el gobierno están haciendo y se den cuenta de que efectivamente hay resultados positivos derivados de la separación de residuos.

Por otra parte, desde hace un par de décadas el medio ambiente ha constituido

un tema importante en la educación a partir de los primeros años de escolaridad (Koroschetz, 2000). La población adulta, a través de los hijos recibe constantemente información y participa en las acciones necesarias para proteger su medio. El objetivo de esta educación no es solamente que se realicen ciertas actividades por obligación, sino el fomento de un pensamiento crítico para que cada ciudadano pueda tomar sus propias decisiones sobre la protección del medio ambiente.

Se concluye pues, que el resultado de la iniciativa por parte de las empresas, de los ministerios de medio ambiente y las ONG's para la difusión de temas ambientales a través de los medios de comunicación y canales formales educativos ha creado una cultura ambiental en la que se tejen, junto con la presión reguladora del Estado, mejoras sustanciales en el tratamiento de los residuos, con repercusiones económicas y ambientales favorables para la sociedad en general y para la protección del medio ambiente.

III. CONCLUSIONES

Los avances registrados en los países europeos para mejorar la gestión de los residuos son el reflejo del trabajo conjunto realizado por todos los sectores de la sociedad: ciudadanía, gobierno, instituciones públicas y privadas y algunas otras organizaciones comprometidas con la educación y la conciencia ambiental de los ciudadanos. El beneficio más evidente ha sido, sin lugar a dudas la disminución de

los residuos que son destinados al entierro, pero este simple cambio en la gestión ha traído consigo muchos otros beneficios, como la mejora ambiental y la prolongación del tiempo de vida de los rellenos sanitarios, la reintroducción de materiales en el ciclo de vida de los productos, ahorro de materia virgen y energía, además de cambios conductuales en la población, entre otros.

Ejemplos como el de la región de Hannover se repiten en los países más sensibilizados ambientalmente, en los que la conciencia ciudadana juega el papel primordial, pues aún contando con marcos reguladores, sin la participación ciudadana y la satisfacción de ésta por las actividades que se realizan en su propio beneficio, todo lo demás podría quedar simplemente en el plano de disposiciones legales inertes o quebrantables.

Así, es evidente que el éxito de programas sostenibles para la gestión integral de los residuos depende en gran medida de la satisfacción de su población que no se limita a la observación pasiva de los logros obtenidos mediante los programas, sino que además, mantiene activa su disposición para contribuir en la selección de los residuos; su compromiso de contribuir en la disminución de los costos por la prestación del servicio, así como su inclusión en otras actividades desarrolladas por las organizaciones encargadas de desarrollar programas de promoción o de realizar el servicio de limpieza y gestión de los residuos.

IV. BIBLIOGRAFÍA

- Aha, 2005. Abfallbilanz 2004. Consulado en mayo 2005. Página web: www.aha-region.
- Balzarini, H., 1999. Envases y embalajes: un análisis de los antecedentes normativos. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable Subsecretaría de Ordenamiento Ambiental, Argentina.
- Bernache, G., 2002. "The environmental impact of municipal waste management: the case of Guadalajara metro area" en Reosources, Conservation & Recycling. Ed. Elsevier. Pp. 223-237.
- Careaga, J. A., 1993. Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalaje.
- Der grüne punkt , 2004. Europa Kommt zum Punkt 2003/2004. Köln, Alemania.
- Empacher, C., 2002. Zielgruppen Ökologischer Konsumverhaltens. Institut für Social-ökologische Forschung (ISOE). Berlín, Alemania.
- Eunomia: www.eunomia.de/
- Eurostat (Base de Datos y Estadísticas de la Unión Europea): www.eu.int/comm/eurostat/
- Hogg, D., 2001. "Costs for municipal waste management in the EU". Final report to Directorate General SEDESOL, Instituto nacional de Ecología. Series Monográficas No. 4.
- Castillo, H., 1991. "Desechos, residuos, desperdicios: Sociedad y suciedad" en Servicios urbanos, gestión local y medio ambiente. Coord. Martha Schteingart y Luciano d'Andrea. El Colegio de México. Pp. 131-147.
- Comisión de las Comunidades Europeas, 2003. "Hacia una estrategia temática para la prevención y el reciclado de residuos". Comunicación de la comisión. Bruselas.
- Cortinas, C., 2002. "Introducción y elementos de técnica regulatoria" en Manuales para regular los residuos con sentido común. Ed. Talleres Gráficos de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Manual 1, México. Pag. 260.
- Environment, European Comission. *Eunomia research & consulting on behalf of ECOTEC research & consulting.*
- Koroschetz, R., 2000. "El medio ambiente como crisol cultural" en *Revista espacios* Vol. 21 (1) Venezuela. Pp. 16-21
- Puig, I., 2003. "Herramientas económicas para la prevención y el reciclaje". XVIII Encuentros estatales de Amantes de la Basura, Barcelona, España.

Programa de gestión integral de residuos sólidos en la UAM-Azcapotzalco Una experiencia camino al éxito.

Espinosa Valdemar Rosa María, Turpin Marion Sylvie, Polanco Segovia Griselda,
De la Torre Vega Alfonso, Delfín Alcalá Irma, Raygoza Maceda María Isabel

Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Azco, México. D.F.

Universidad Nacional Autónoma de México, FES Iztacala, México separaccion@correo.azc.uam.mx,
rmev@correo.azc.uam.mx, stm@correo.azc.uam.mx, delfin@servidor.unam.mx

Resumen

La UAM-Azcapotzalco implementó el Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos “*Separación*, por un mejor UAMambiente”, encaminado a: concientizar a la comunidad de la UAM-A sobre la problemática de los residuos e involucrarla en la separación de los mismos y cumplir con la legislación ambiental. El Programa consiste en la separación de los residuos en: *recuperables* (envases de vidrio, de PET, Tetrapak y latas de aluminio) y *todo lo demás* (no recuperables). En los tres años de vigencia del Programa, la cantidad de residuos entregados al servicio de limpia se ha reducido considerablemente: se han enviado a reciclaje 2.3 toneladas de PET, 1.2 toneladas de Tetrapak, 27.5 kg de aluminio y 2.2 toneladas de vidrio.

Palabras Clave –residuos sólidos, separación, planes de manejo, reciclaje, educación ambiental.

Abstract

At Campus Azcapotzalco of Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-A) was implemented an Integral Handling of Urban Solid Wastes Program, “*Separación* por un mejor UAMambiente”. This Program is directed to create conscience in UAM-A community relating to the problematic of solid wastes and implicate them on the separation of these residues, so fulfilling local environmental legislation. The Program

consists in sorting solid wastes in 2 classes: 1) recoverable residues (glass and PET bottles, aluminum cans, Tetrapak packing) and 2) other residues (non recoverable residues). Past three years of this Program, the quantitie of solid residues delivered monthly to municipal collecting service has been considerably reduced. In this period, UAM-A has sent to recycling: 2,2 tons of glass bottles; 2,3 tons of PET bottles; 1,2 tons of Tetrapak packaging and 27,5 kg of aluminum cans.

Key words –solid wastes, management plans, recycling, environmental formation.

I. INTRODUCCIÓN

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, que fue publicada en enero de 2004, establece la obligación que tienen los grandes generadores de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, de formular y ejecutar planes de manejo al respecto, orientados a prevenir su generación, incrementar la valorización de los que se generen y lograr el manejo ambientalmente adecuado de los mismos.

Son grandes generadores quienes generen más de 10 toneladas al año de residuos, por lo que la mayoría de las instituciones educativas son catalogadas como tales y deben desarrollar los planes de manejo correspondientes. Dichas instituciones deben adoptar, además, sistemas de gestión ambiental que

incluyan, entre otras cosas, políticas de adquisiciones tendientes a lograr un consumo sustentable basado en “compras inteligentes” con la consecuente reducción de residuos generados, adquirir materiales y productos reciclados o reciclables. Se considera que el control en cuanto a este tipo de compras es solamente uno de los puntos de un sistema de gestión, prácticamente es la entrada de materiales en el proceso, al que le sigue la transformación, para finalmente tener la salida, que consiste en la generación de residuos.

Se espera que los planes de manejo de las instituciones educativas, involucren a los alumnos, como parte del proceso de enseñanza.

Además, como parte de las políticas internas de la UAM, existe un compromiso de procurar el cuidado del ambiente y de promover en los alumnos, valores para el buen uso y el aprovechamiento responsable de los recursos naturales.

En este contexto, a principios de 2003, antes de que se publicara la legislación nacional en materia de residuos sólidos, la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A), diseñó el Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos denominado “*Separación*, por un mejor UAM-biente” para los residuos sólidos generados en el *campus*. Este Programa es justamente el plan de manejo que pide la Ley.

La puesta en marcha de este Programa, en octubre de 2003, coincidió con la publicación de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, y, estando la UAM-A localizada en la Delegación Azcapotzalco de dicha entidad federativa, estaba obligada a cumplir también lo establecido en esa ley local.

En este trabajo se describe el Programa que instrumentó la UAM-A, para la gestión de los residuos sólidos urbanos que se generan en sus instalaciones y los resultados obtenidos hasta el momento.

II. PROGRAMA DE GESTIÓN INTEGRAL

El Programa de gestión integral instrumentado por la UAM-A consiste en las siguientes etapas:

- Diagnóstico
- Objetivo del Programa
- Primera etapa operativa
- Segunda etapa operativa
- Tercer etapa operativa

Diagnóstico

La UAM-A cuenta con una población de 3,000 trabajadores entre profesores y empleados administrativos, además de 12,000 alumnos. La superficie total de la Unidad es de 190,513 m² de la que 72,346 m² son áreas verdes.

Antes de la puesta en marcha del Programa, los residuos generados por la comunidad en cualesquiera de las diferentes zonas de la Unidad, fueran salones de clase, laboratorios, talleres, u oficinas, eran depositados sin separar y sin hacer distinción entre residuos urbanos, peligrosos y de manejo especial, en los contenedores que se tenían para el efecto.

Estos residuos eran recolectados internamente por los trabajadores de ambos turnos de la Sección de Intendencia (180 trabajadores), quienes los llevaban, para su almacenamiento temporal, a un espacio instalado para este fin, llamado “contenedor principal”. Los residuos de jardinería eran recolectados por los jardineros (30 trabajadores)

y depositados en dos contenedores contruidos para ese propósito.

Generación de residuos

A partir de los datos aportados por estudios realizados durante 5 años, por alumnos de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental de esta Unidad, 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 capita* (dentro de la Unidad) de 0.110 kg/día/persona.

En las cifras anteriores no están incluidos los residuos provenientes de la cafetería, ya que éstos tienen un manejo diferente que se menciona posteriormente.

El peso volumétrico de los residuos mencionados es de 87.5 kg/m³, por lo que las 7.74 toneladas mencionadas representan un volumen aproximado de 88.45 m³ (Gálvez y De la Torre, 2003).

Los residuos generados en la UAM-A, se clasifican como “Residuos Sólidos Urbanos” (RSU); sin embargo, su composición es diferente de la de los residuos domiciliarios, como se puede observar en las figuras 1 y 2. La diferencia radica, principalmente, en la proporción relativa de los residuos de tipo “orgánico”. En las casas-habitación, esta fracción corresponde al 50% del total, en tanto que en la Unidad, representa solamente al 24%.

En la UAM-A la fracción más importante corresponde a los residuos considerados “inorgánicos”, que incluye vidrio, papel y cartón, plásticos, metales, etcétera.

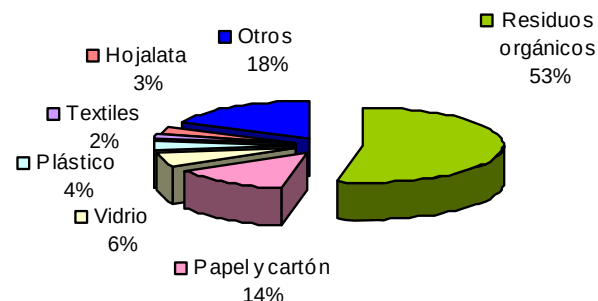


Figura 1. Composición de RSU en el DF (Fuente: GDF, 2004)

En general, los residuos “orgánicos” provienen del mantenimiento de jardines y de la preparación de alimentos. Prácticamente todos los residuos orgánicos de la UAM-A se generan en las secciones de Jardinería y Cafetería, y son manejados por separado; estos últimos se recolectan diariamente por un servicio que se tiene contratado ex profeso.

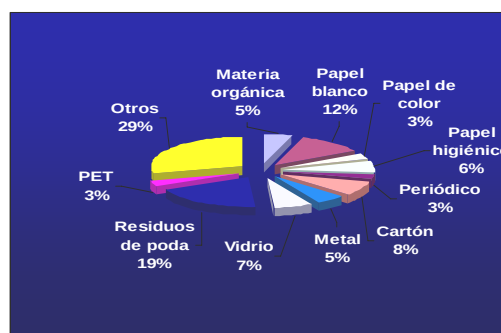


Figura 2. Composición de RSU en la UAM-A

En las áreas abiertas, salones de clase, laboratorios, pasillos y demás instalaciones de la Unidad, la generación de residuos orgánicos es prácticamente nula.

En contraste, entre los residuos inorgánicos generados en áreas abiertas, accesos y pasillos, hay grandes cantidades de residuos recuperables, entre ellos: envases de PET, envases de vidrio, Tetrapak y latas de aluminio, cuya separación es conveniente ya que existe un mercado para su comerciali-

zación. También se encuentran otros tipos de materiales de plástico, que aún siendo reciclables tienen un mercado reducido.

Otro residuo reciclable presente en esas mismas áreas son: servilletas, envolturas y bolsas de papel, pero debido a que estos materiales están sucios al ser desechados es difícil considerar un posible reciclaje. En diferencia con los materiales de papel mencionados, en las oficinas académicas y administrativas se genera una gran cantidad de papel “limpio”, que es potencialmente recuperable.

Los señalamientos expuestos anteriormente fueron el punto de partida para el diseño del Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos que la UAM-A puso en marcha, al decidir separar los residuos en las dos fracciones siguientes:

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

Clasificación que aunque no coincide exactamente con lo descrito como “residuos orgánicos” y “residuos inorgánicos” en la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, en ese momento fue una propuesta práctica para la UAM-A.

La segregación de los residuos contenida en la propuesta va un poco más allá de la Ley. Al individualizar los diferentes tipos de residuos, permite canalizarlos a las instancias transformadoras o recicladoras correspondientes, en tanto que el resto (residuos no recuperables) es depositado en los sitios de disposición final o enviado a composteo.

Objetivos del Programa

Los objetivos institucionales del Programa “Separación” 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.

Considerando los objetivos a alcanzar se planeó la aplicación del Programa en tres etapas.

Esta planeación en tres etapas se hizo considerando dos factores. El primero, que la separación de residuos es un hábito que la comunidad adquiere paulatinamente ya que involucra un cambio de mentalidad y de costumbres por lo que es importante ir paso a paso. El otro factor también importante, era que no se contaba con el dinero suficiente para financiar en una sola etapa la infraestructura que requería todo el Programa.

Primera etapa operativa

En esta etapa se inició la separación de los residuos sólidos en los espacios abiertos y en los accesos y pasillos de la planta baja de todos los edificios de la Unidad.

Para lograr una separación eficiente, se consideró el resultado del diagnóstico en cuanto al volumen y tipo de residuos sólidos generados y depositados en los recipientes disponibles antes del inicio del Programa, y se planeó la infraestructura requerida:

- Número y ubicación de los recipientes necesarios para la segregación de los residuos en “recuperables” y “no recuperables”,

- Número y ubicación de recipientes para residuos de otros tipos: sanitarios y provenientes de la cafetería,
- Forma, tamaño y color de cada tipo de recipiente, para su fácil identificación,
- Materiales e insumos: bolsas de plástico, básculas, flejadora, equipo móvil para volúmenes grandes de residuos.

Se realizó una búsqueda de recipientes que siendo utilitarios, no afectaran la imagen de estos espacios y que fueran fáciles de manejar.

Se propuso que los residuos fueran depositados en botes blancos o botes rojos según:

1. Recuperables: botes blancos
2. Todo lo demás (no recuperables): botes rojos

Se decidió que en los botes blancos se colocaran bolsas blancas y en los rojos, bolsas negras.

En los botes de los baños se colocaron bolsas amarillas para los residuos sanitarios.

Se estudiaron los sitios más convenientes para ubicar los botes y éstos fueron fijados al piso (anclados) por parejas rojo-blanco y se les identificó con calcomanías que indicaban el tipo de residuos que debían ser depositados en cada bote (Figura 3). En esta primera etapa fueron colocados 146 botes en los espacios exteriores (Espinosa, 2004).



Figura 3. Distribución de botes en los espacios abiertos de la Unidad

Los residuos separados, una vez que eran recolectados por el personal de la sección de Intendencia, debían ser depositados y mantenidos en las áreas de almacenamiento temporal, en tanto eran enviados al destino que les correspondía.

La recolección de los residuos en forma separada, mostró la necesidad de que fueran almacenados de igual manera. Para cumplir con esta necesidad, se diseñó y realizó una nueva distribución al interior del contenedor principal.

En la figura 4, se muestran los avances en el rediseño de este contenedor, que básicamente consistió en la división del espacio en secciones que fueron pintadas de acuerdo con el tipo de residuos a almacenar. Se cuenta además con dos contenedores pequeños, exclusivos para residuos de poda.



Figura 4. Remodelación del centro de acopio

Se diseñó una campaña de difusión del Programa con calcomanías para los botes, folletos, carteles, mantas, playeras. (Figura 5)



Figura 5. Imagen del Programa para la primera etapa

Finalmente, se estableció contacto con empresas de recuperación de materiales y se impartieron talleres de capacitación al personal de las secciones más relacionadas con el manejo de los residuos, las de Intendencia y de Cafetería.

Segunda etapa operativa

La segunda etapa comenzó en julio de 2004 y actualmente sigue en proceso. Como actividad inicial, se colocaron, en los pasillos de los pisos superiores, 72 parejas de contenedores. En la figura 6 se muestra la disposición de los recipientes para residuos, en uno de los pisos superiores.



Figura 3. Separación de residuos en los pisos altos

También en esta etapa se inició la planeación de estrategias para la separación de papel "limpio" en las áreas académico-administrativas de la Unidad, por lo que se realizaron algunas acciones:

- Diagnóstico e inventario de los residuos generados en dichas oficinas
- Diseño y/o búsqueda de recipientes para depositar el papel, que siendo utilitarios, no afectaran la imagen de las oficinas, ni requirieran grandes desplazamientos de quienes en ellas laboran.
- Número y ubicación de los contenedores.
- Diseño del sistema de recolección.
- Diseño de la campaña de difusión correspondiente.
- Impartición de talleres de capacitación al personal de la sección de Intendencia.
- Impartición de pláticas de información y concientización al personal

administrativo y académico de estas áreas.

Se tiene planeado que la separación de estos materiales inicie con una fase piloto que abarque once oficinas, incluyendo tanto espacios académicos como administrativos, y paulatinamente se incorporen los demás.

Cabe mencionar que tanto el papel como el cartón se empezaron a separar “naturalmente” durante la primera etapa del Programa, por lo que desde entonces se registraron y se iniciaron los trámites para su comercialización.

También, se realizaron actividades encaminadas a la evaluación de la primera etapa del Programa, que incluyeron entrevistas a alumnos, académicos y autoridades de la Institución. Los datos fueron reflejados en encuestas cuyos resultados indicaron la conveniencia de rediseñar las calcomanías de identificación de los botes, además de diseñar y poner en marcha una campaña de reforzamiento del Programa que incluyera medios de difusión diferentes.

Para esto, se consideraron folletos con información actualizada, mantas, página web, protectores de pantalla en salas de cómputo para alumnos, spots en el auditorio de la Unidad, manteletas para las charolas en la cafetería, etcétera. En la figura 7, se muestra la nueva imagen del Programa en la que destacan los íconos que se diseñaron y aceptaron como identificadores de los recipientes para residuos sólidos.

La evaluación de la primera etapa y en particular, el análisis del inventario de los residuos recuperables que se generan en la Unidad permitieron mejorar el sistema de recolección interna y los procedimientos de separación de acuerdo al tipo de residuo comercializable.



Figura 4. Nueva imagen del Programa

Tercera etapa operativa

En esta última etapa, se aplica el Programa *Separación* en las áreas de la Unidad en donde se generan residuos de manejo especial, así como en los espacios que no fueron considerados en alguna de las dos primeras etapas: talleres, laboratorios de docencia e investigación, secciones de Fotocopiado y de Mantenimiento.

Un capítulo importante de esta tercera etapa es prestar la atención adecuada y definir una propuesta de tratamiento o de destino para cada uno de los distintos tipos de residuo especial, contratando, si fuera necesario, servicios profesionales.

Un caso particular de residuos de manejo especial son los cartuchos de tinta y los *toners* para impresoras y copiadoras, residuos que no fueron considerados en el planteamiento original del Programa. Estos cartuchos usados tienen la ventaja, respecto a otros residuos de manejo especial, de que varios de sus componentes pueden ser recuperados y reutilizados o reciclados, lo que representó otra posibilidad de acción dentro del Programa. Se identificó dicha posibilidad por lo que se entablaron negociaciones que condujeron a un convenio de “clientes permanentes” con las empresas Hewlett-Packard e Industrias Kores, el convenio con-

siste en enviar a reciclaje, a través de dichas empresas, los cartuchos de tinta y toners. Se está intentando establecer convenios similares con otras empresas del mismo ramo.

En esta misma etapa, se planea el tratamiento de los desechos orgánicos y de los residuos de poda. Para ello se tiene contemplado el diseño, equipamiento y puesta en marcha de una planta de composteo dentro de las instalaciones de la Unidad. Se han hecho algunos ensayos a través de pilas experimentales, cuyos resultados están en proceso de revisión y análisis.

III. RESULTADOS DEL PROGRAMA

Los estudios encaminados al diagnóstico, realizados por alumnos de la Licenciatura en Ingeniería ambiental, mostraron la conveniencia de separar algunos residuos “inorgánicos” de los demás residuos, como son los envases de agua y refrescos (PET), los de bebidas lácteas y jugos (Tetrapak y cartón), los de jugos y refrescos (vidrio) y las latas (botes de aluminio). Los criterios aplicados fueron que:

- Son reciclables,
- Se generan en grandes volúmenes en los espacios abiertos,
- Es de fácil identificación en cuál recipiente se deben depositar,
- En general, no están “sucios” al ser desechados,
- Tienen valor comercial y hay un mercado potencial para su reciclaje.

Por otro lado, la cantidad de materia orgánica que se genera en los espacios abiertos y en los salones de clase es muy baja, menor al 5% del total en peso, por lo que no se

juzgó útil colocar botes específicos para separarla.

Desde el inicio del Programa *Separación*, se estableció la segregación de los residuos en los botes blancos y rojos que fueron ubicados en las áreas abiertas, accesos y pasillos de la Unidad. También se separan los envases recuperables y los cubiertos metálicos en las instalaciones de la cafetería (Figura 8).



Figura 5. Separación de residuos en la cafetería

Los residuos recuperables son depositados y almacenados temporalmente en el centro de acopio de la Unidad, sitio en el que se les revisa, acondiciona y pesa previo a su envío a reciclaje. En la tabla 1, se indican las cantidades (en peso) de los residuos recuperados en los años 2005 y 2006.

Tabla 1. Recuperación de residuos en 2005 y 2006

Año	Generación (kg)						Total
	PET	Aluminio	Vidrio	Tetrapak	Papel	Cartón	
2005	913.4	8.3	133.9	388.7	0.0	0.0	1444.3
2006	1369.1	19.2	2018.0	787.0	931.6	2487.0	7611.9

En la tabla 2 se resumen las cantidades (en peso) de cada tipo de residuo, que fueron enviadas a reciclaje en el mismo periodo. Esas cantidades, junto con los residuos de poda, representan aproximadamente 2,120

m³ de residuos que se evitó depositar en el relleno sanitario.

Tabla 2. Residuos que han sido enviados a reciclaje en 2005 y 2006

Residuo	Recuperación (pzas.)	Recuperación (kg)	Compañía recicladora
Envases de PET	153,247	2,282.5	ECOCE
Envases de aluminio	1,719	27.5	Centro de acopio
Envases de vidrio	6,625	2,151.9	Vidriera Monterrey (Vitro)
Envases Tetrapak	32,324	1,175.7	Junior League
Papel	-	931.6	Ecofibras Ponderosa
Cartón	-	2,487	Ecofibras Ponderosa
Cartuchos de tinta	153	-	Hewlett-Packard y Kores
Toners	240		Hewlett-Packard

Un resultado importante es el ahorro económico que ha tenido la Institución desde la implantación del Programa *Separación*, al disminuir drásticamente la necesidad de contratar al servicio privado de recolección para retirar aquellos residuos que no eran recolectados, por diferentes razones, por el servicio público de la Delegación correspondiente.

En la tabla 3 se presenta el número de servicios privados de recolección de residuos contratados en los últimos tres años, con respecto a los utilizados en el año 2003.

Tabla 3. Número de servicios privados de recolección de residuos contratados y volumen correspondiente

Año	Número de viajes	Volumen de residuos (m ³)
2003	182	2184
2004	122	1410
2005	260	2274
2006	88	24

En cumplimiento del Artículo 33 de la Ley de Residuos Sólidos para el D. F., la UAM-A está entregando al servicio de limpia de la Delegación sus residuos separados en las siguientes fracciones:

- Residuos orgánicos: Restos de la poda de las áreas verdes,
- Residuos inorgánicos: Materiales diversos, clasificados como “todo lo demás”, que desde el punto de vista de la Ley son residuos inorgánicos, y para el Programa *Separación* de la UAM- A, no tienen valor comercial por no ser recuperables (depositados en los “botes rojos”).

Se ha reducido de manera importante el peso y volumen de los residuos que se entregan al servicio de limpia (9.4 ton, 107m³), dado que los residuos recuperables (depositados en los “botes blancos”) se envían a reciclaje.

De esta manera, los residuos generados en esta Institución reciben un manejo desde una visión integral que se rige por los principios de prevención, minimización y protección al ambiente.

Para cumplir con su compromiso institucional de inculcar en los miembros de la comunidad valores que contribuyan al cuidado y protección del ambiente y a desarrollar un sentido de responsabilidad ambiental, el Programa *Separación* se ha dado a la tarea de informar y concientizar a la comunidad respecto de la importancia y del impacto benéfico al ambiente que se busca a través de la separación de los residuos sólidos. Para ello se ha venido participando activamente en diversos eventos universitarios, como por ejemplo, a través de la impartición de pláticas a los alumnos de nuevo ingreso al inicio del ciclo escolar, como parte

del Programa de Introducción a la Vida Universitaria (PIVU), en la Primera Jornada Médico Social y Cultural y en la organización y desarrollo de la Semana del Ambiente UAM-A, desde el año 2004.

El juego educativo interactivo “Separemos la basura” (Figura 9) formó parte de las actividades de la Semana del Ambiente UAM-A de junio de 2005 y 2006.



Figura 9. Presentación del juego “Separemos la basura”

Otro resultado importante, no cuantificable en términos numéricos, es el cambio notable en los miembros de la comunidad respecto a su actitud hacia el Programa. Al inicio, estaban indiferente, poco participativos y paulatinamente se ha notado una mayor colaboración y participación para separar los residuos. Hoy una gran parte de la comunidad conoce el Programa así como la forma correcta de depositar sus residuos.

IV. CONCLUSIONES

La problemática ambiental es un tema prioritario a nivel mundial desde hace varios años. La Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana es una Institución que, desde su fundación, ha estado

comprometida con el buen uso de los recursos y con el cuidado del ambiente.

Estas actividades son desarrolladas desde 2003, fundamentalmente, a través del Programa de Manejo Integral de los Residuos Sólidos, *Separación*, que además de las acciones concretas de separación, promueve cambios en los valores y la conducta de los individuos que conforman e interactúan en esta comunidad universitaria.

A través de la presentación del Programa *Separación* en diversos eventos socioculturales del *campus*, y de las campañas de difusión del mismo, se ha informado y sensibilizado a la comunidad universitaria acerca de la importancia y la magnitud de la problemática de los residuos sólidos en nuestro país. El conocimiento del Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos en la Institución, y el volumen de residuos recuperables que han sido enviados a reciclaje, ha despertado el interés de la comunidad universitaria (estudiantes, académicos, autoridades) y ha contribuido a su involucramiento en la cultura de separación de residuos sólidos.

Desde el punto de vista legal, la Institución está cumpliendo con la legislación vigente en el Distrito Federal: los residuos se entregan separados a los camiones recolectores, además de que se ha reducido la cantidad de residuos que se envían a disposición final.

El Programa está todavía en proceso de implementación, una vez concluida esta etapa y realizada la evaluación de los resultados, el mantener una campaña permanente formará parte del Programa, sin detrimento de las revisiones y adecuaciones que se juzguen pertinentes para lograr una participa-

ción cada vez mayor de la comunidad, no sólo en relación a la problemática de los residuos, sino en general al cuidado y protección del ambiente.

Los responsables del Programa han realizado pláticas de información a las otras Unidades y a la Rectoría General de la UAM, pues se contempla exportar a esas instancias, el Programa *Separación*.

Finalmente hay que destacar que para garantizar el éxito de la instrumentación de un Programa de manejo de los residuos sólidos en una institución de educación superior, son factores muy importantes, además de la parte técnica, el apoyo de las autoridades, el trabajo interdisciplinario y el involucramiento de la comunidad universitaria.

V. REFERENCIAS

- Diario Oficial de la Federación, 8 de octubre de 2003, "Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos".
- Espinosa V. R. M., et al, 2004. "Plan de Manejo de Residuos Sólidos en la UAM-Azcapotzalco: Diseño y Puesta en Marcha de la Primera Etapa", XIV Congreso Nacional de la Federación Mexicana de Ingeniería y Ciencias Ambientales (FEMISCA), Mazatlán, Sin., 12 - 14 de mayo de 2004.
- Espinosa V. R. M., et al, 2006. "Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la UAM-Azcapotzalco", I Coloquio Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo, CIEMAD-IPN, D.F., 30 de octubre - 1 de noviembre de 2006.
- Gaceta Oficial del D.F., 22 de abril de 2003, "Decreto por el que se crea la Ley de Residuos Sólidos". Gaceta Oficial del D.F., 1 de abril de 2004, "Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos para el Distrito Federal".
- Gálvez Coeto E. y De la Torre Vega A. 2003. "Elaboración de un programa de gestión de la separación y acopio del PET en la UAM - A.", Proyecto Terminal en Ingeniería Ambiental.
- Turpin M. S., et al, 2004. "Manejo Integral de Residuos Sólidos". Seminario "Prevención de la contaminación y manejo ambiental en las IES", en el marco de los festejos del XXX aniversario de la UAM, Unidad Azcapotzalco, 18 - 19 de noviembre de 2004.

Referencias electrónicas:

- "Cartuchos de impresoras laser-toner". 2000.
http://www.puntoambiental.com/informes/cartuchos_toner.pdf. Abril, 2006.

Alternativas para el Manejo Integral de Residuos de la Construcción y Demolición.

Constantino Gutiérrez Palacios, Claudia Josefina Rivera Mera
Universidad Nacional Autónoma de México
México D.F.

gupc@servidor.unam.mx, ing_cjrm@yahoo.com

Resumen

Los residuos originados en la construcción y demolición, residuos C&D, de edificaciones y estructuras diversas útiles en las actividades del mundo moderno, en el pasado no habían sido considerados importantes respecto a los impactos ambientales que producen. Sin embargo, en años recientes ha sido tal la preocupación por los impactos ambientales negativos que origina su inadecuado manejo que ha sido necesario legislar para lograr su control. Las leyes: General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2003) y de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF, 2003) los clasifica dentro de los residuos de manejo especial y los que requieren sujetarse a planes de manejo específico respectivamente. Asimismo, en el Distrito Federal en julio de 2006 entró en vigencia la Norma Ambiental NADF-007-RNAT-2004, la cual tiene como objetivo establecer la clasificación y especificaciones de manejo de los residuos de la construcción y obligan a los generadores de 7 m³ o mayor cantidad de residuos al día, a presentar un Plan de Manejo. Adicionalmente la Norma los obliga a reusar directamente en la obra parte de los residuos que se generan y a enviar a reciclaje el 30 % de éstos durante el primer año de entrada en vigor de la Norma incrementando en 15 % anual hasta llegar al 100 %. Basado en las legislaciones mencionadas, en este trabajo se llevó a cabo un análisis de las acciones que pueden poner en práctica en forma técnica, económica y segura ambientalmente, los generadores de residuos C&D para elaborar el plan de manejo específico de estos residuos que se solicita en la legislación. Asimismo se realizó un análisis del mercado potencial que puede representar el aprovechamiento y comercialización de los residuos

C&D reciclados. Como resultado se obtuvo una propuesta de Plan de Manejo de residuos C&D que puede tomarse como base para que los estados y municipios de la República Mexicana, puedan elaborar su propio plan de manejo.

Palabras Clave - Residuos de la Construcción y Demolición, aprovechamiento, reciclaje

I INTRODUCCIÓN

En la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2003) los residuos se clasifican en: peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial. Los residuos generados en la industria de la construcción y demolición, C&D, están dentro del grupo de residuos de manejo especial, que en esta ley se definen como: “... *aque-llos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos*”; (LGPGIR, 2003) Asimismo, la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF, 2003) los define como: “*los que requieran sujetarse a planes de manejo específicos con el propósito de seleccionarlos, acopiarlos, transportarlos, aprovechar su valor o sujetarlos a tratamiento o disposición final de manera ambientalmente adecuada y controlada*”.

En México los residuos C&D, en general no son aprovechados y por el contrario la inadecuada disposición de ellos en barrancas, camellones, calles y áreas públicas, provocan impactos ambientales y en ocasiones

riesgos a la integridad física de los pobladores. En julio del 2006, fue publicada la norma ambiental NADF-007-RNAT-2004, la cual tiene como objetivo establecer la clasificación y especificaciones de manejo de los residuos de la construcción en el Distrito Federal. Dicha norma establece la sustitución de por lo menos un 25% de materiales vírgenes por materiales reciclados en la construcción de diferentes obras, salvo que se compruebe mediante estudios un porcentaje diferente.

La composición de los residuos generados por la industria de la construcción varía dependiendo si éstos provienen de la construcción de obras nuevas o de la demolición de estructuras. Los residuos que se generan se pueden clasificar en forma general en: pedacería de materiales tales como: madera, tabla roca, tabique, metales, vidrio, plásticos, asfalto, concretos, ladrillos, bloques, cerámicos entre otros.

En México el uso de residuos C&D ha sido escaso y se ha limitado prácticamente a utilizarlos como material para relleno y nivelación y en el mejor de los casos como base de terracerías y caminos secundarios, por ejemplo de rellenos sanitarios. La utilización de materiales reciclados ha sido más escasa aún debido a la poca oferta de estos materiales. En México existe una sola planta constituida especialmente para acondicionar y procesar los residuos C&D para producir materiales granulares de distintos tamaños que van desde finos, arenas y gravas. Ésta es Concretos Reciclados S.A. de C. V. ubicada en la Delegación Ixtapalapa, D.F.

Actualmente los residuos C&D de mayor demanda y comercialización son los metales y la madera, sin embargo los residuos de las excavaciones, el concreto, las tejas, los la-

drillos, tabiques y cerámicos, son otros componentes que también han demostrado a nivel mundial tener un potencial importante de reuso o reciclaje y en México empieza a crearse un nuevo mercado ambiental alrededor de estos materiales. Este mercado denominado se refiere a toda la cadena económica que tiene que ver con el aprovechamiento de estos residuos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se revisó y analizó la legislación nacional referente al manejo de los residuos sólidos en general y al de los residuos C&D en particular. Con base en la metodología de mercado se identificaron los principales agentes que pueden participar en la cadena económica de reuso y reciclaje de residuos C&D.

2.1 Ley General para la Gestión Integral de los Residuos.

Esta ley marca entre sus objetivos la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial. A éstos últimos los define como: "... aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos" (LGPGIR, 2003). En el artículo 26 se menciona la obligatoriedad de las entidades federativas y de los municipios para elaborar e instrumentar los programas locales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial mediante, entre otros puntos:

"I. El diagnóstico básico para la gestión integral de residuos de su competencia, en el que se precise la capacidad y efectividad de la infraestructura disponible para satisfacer la demanda de servicios" (LGPGIR, 2003)

Asimismo, la ley define plan de manejo como: “XXI. Plan de Manejo: Instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos específicos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos, diseñado bajo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral, que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de subproductos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno;” (LGPGIR, 2003)

También establece las siguientes acciones como obligación de las entidades federales y municipios:

I. El control y vigilancia del manejo integral de residuos en el ámbito de su competencia;

II. Diseñar e instrumentar programas para incentivar a los grandes generadores de residuos a reducir su generación y someterlos a un manejo integral;

III. Promover la suscripción de convenios con los grandes generadores de residuos, en el ámbito de su competencia, para que formulen e instrumenten los planes de manejo de los residuos que generen;

IV. Integrar el registro de los grandes generadores de residuos en el ámbito de su competencia y de empresas prestadoras de servicios de manejo de esos residuos, así como la base de datos en la que se recabe la información respecto al tipo, volumen y forma de manejo de los residuos;

V. Integrar la información relativa a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, al Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales;

VI. Elaborar, actualizar y difundir el diagnóstico básico para la gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial;

VII. Coordinarse con las autoridades federales, con otras entidades federativas o municipios, según proceda, y concertar con representantes de organismos privados y sociales, para alcanzar las finalidades a que se refiere esta Ley y para la instrumentación de planes de manejo de los distintos residuos que sean de su competencia;

VIII. Establecer programas para mejorar el desempeño ambiental de las cadenas productivas que intervienen en la segregación, acopio y preparación de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial para su reciclaje;

IX. Desarrollar guías y lineamientos para la segregación, recolección, acopio, almacenamiento, reciclaje, tratamiento y transporte de residuos;

X. Organizar y promover actividades de comunicación, educación, capacitación, investigación y desarrollo tecnológico para prevenir la generación, valorizar y lograr el manejo integral de los residuos;

XI. Promover la integración, operación y funcionamiento de organismos consultivos en los que participen representantes de los sectores industrial, comercial y de servicios, académico, de investigación y desarrollo tecnológico, asociaciones profesionales y de consumidores, y redes intersectoriales relacionadas con el tema, para que tomen parte

en los procesos destinados a clasificar los residuos, evaluar las tecnologías para su prevención, valorización y tratamiento, planificar el desarrollo de la infraestructura para su manejo y desarrollar las propuestas técnicas de instrumentos normativos y de otra índole que ayuden a lograr los objetivos en la materia, y

XII. Realizar las acciones necesarias para prevenir y controlar la contaminación por residuos susceptibles de provocar procesos de salinización de suelos e incrementos excesivos de carga orgánica en suelos y cuerpos de agua.

Se establece que “Los municipios regularán los usos del suelo de conformidad con los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano, en los cuales se considerarán las áreas en las que se establecerán los sitios de disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.”

2.2 Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

El Título Segundo se refiere a los Planes de Manejo de residuos. Los sujetos que intervienen se clasifican en:

- a) Privados (los instrumentados por los particulares que por ley están obligados a la elaboración y presentación de un Plan de Manejo)
- b) Mixtos (los instrumentados por los particulares con la participación de las autoridades)

Considerando la posibilidad de asociación, puede ser:

- a) Individuales
- b) Colectivos

Conforme a su ámbito de aplicación, pueden ser:

- a) Nacionales (en todo el territorio nacional)
- b) Regionales (dos o más estados o municipios o el Distrito Federal)
- c) Locales (un solo estado, municipio o Distrito Federal)

2.3 Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2004

Esta norma ambiental local, que establece la clasificación y especificaciones para manejo de residuos de la construcción en el Distrito Federal, es la primera norma en el país que fue promulgada específicamente para el control y el aprovechamiento de los residuos C&D (Gaceta DF, julio 2006)

El objeto de esta norma ambiental es establecer la clasificación y especificaciones de manejo de los residuos de la construcción para optimizar su control, fomentar su aprovechamiento y minimizar su disposición final inadecuada.

Los generadores de residuos C&D se clasifican de acuerdo a la tabla 1.

Tabla 1. Categoría y requerimientos ambientales de los generadores de residuos de la construcción

Categoría	Requerimientos
Mayor o igual a 7 m ³	• Presentación de plan de manejo de residuos de acuerdo a lo establecido por las disposiciones jurídicas aplicables.
Menor de 7 m ³	• Recolección mediante la contratación de un prestador de servicios (transportista) o la Delegación correspondiente. • Sin presentación de plan de manejo de residuos.

El plan de manejo de residuos, requerido en la tabla 1 debe ser presentado ante la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal para su evaluación y autorización. Se establece la responsabilidad de los generadores y de los prestadores de servicios que intervengan en su manejo, desde la generación hasta la disposición final.

El generador de residuos de la construcción de volúmenes mayores o iguales a 7 m³, en coordinación con el prestador de servicios, debe comprobar mediante un Manifiesto de Entrega Recepción el destino final de la totalidad de los residuos generados conforme a los lineamientos establecidos en el plan de manejo de residuos. Se establece que con el fin de incrementar el aprovechamiento de los residuos de la construcción, éstos se clasifican en las fracciones que se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación enunciativa no limitativa de los residuos de la construcción

A. Residuos potencialmente reciclables para la obtención de agregados y material de relleno	
Nombre	
1.	Prefabricados de mortero o concreto (blocks, tabicones, adoquines, tubos, etc.).
2.	Concreto simple.
3.	Concreto armado.
4.	Cerámicos.
5.	Concretos asfálticos.
6.	Concreto asfáltico producto del fresado.
7.	Productos de mampostería.
8.	Tepetatosos.
9.	Prefabricados de arcilla recocida (tabiques, ladrillos, Blocks, etc).
10.	Blocks.
11.	Mortero.
B. Residuos de excavación	
Nombre	
1.	Suelo orgánico.
2.	Suelos no contaminados y materiales arcillosos, granulares y pétreos naturales contenidos en ellos.
3.	Otros materiales minerales no contaminados y no peligrosos contenidos en el suelo.
C. Residuos sólidos	
Nombre	
1.	Cartón.
2.	Madera.
3.	Metales.
4.	Papel.
5.	Plástico.
6.	Residuos de podas, tala y jardinería.
7.	Paneles de yeso.
8.	Vidrio.
9.	Otros.

Asimismo, se establece que los generadores de residuos de la construcción de volúmenes mayores o iguales a 7 m³ y los prestadores de servicios además de cumplir con la presentación del plan de manejo de residuos y demás ordenamientos legales aplicables en la materia, deben observar las disposiciones indicadas en las siguientes fases del manejo, según sea el caso:

- Separación en la fuente
- Almacenamiento
- Recolección y transporte
- Aprovechamiento
- Disposición final

2.3.1 Separación en la fuente

Los generadores deben separar sus residuos y clasificarlos por clase A, B o C como se indica en la Tabla 2.

2.3.2 Almacenamiento

Los generadores deben almacenar sus residuos de manera temporal; aplicar agua tratada en las áreas de mayor movimiento con el fin de reducir la emisión de polvo y partículas

2.3.3 Recolección y Transporte

Con el propósito de mantener separados los residuos que se almacenaron en forma clasificada, en la norma se establecen las siguientes obligaciones para el generador de residuos C&D

“a) Durante la recolección y transporte de los residuos de la construcción se debe respetar la separación de estos residuos realizada desde la fuente por el generador conforme a lo establecido en el cuadro 2 de esta norma y evitar mezclarlos con otro tipo de residuos.

b) El prestador del servicio del transporte debe circular en todo momento, con los aditamentos necesarios que garanticen la cobertura total de la carga para evitar la dispersión de polvos y partículas, así como la fuga o derrame de residuos líquidos durante su traslado a sitios de disposición autorizados.” (NADF-007-RNAT-2004, 2006)

2.3.4 Aprovechamiento

Se establece que para el aprovechamiento

de los residuos de la construcción los generadores de residuos de la construcción que requieren presentar evaluación de impacto ambiental, aviso de demolición o informe preventivo procederán como sigue:

a) para aprovechar los residuos clasificados en la sección **A** de la tabla 2, están obligados a enviar a reciclaje por lo menos un 30% de estos residuos de la construcción durante el primer año de aplicación de la norma ambiental, incrementándose dicho porcentaje en un 15 % anual hasta llegar al 100 % como óptimo.

b) Para aprovechar los residuos de la construcción clasificados en la sección **B** de la tabla 2, deben reusar directamente en el sitio de generación al menos el 10% de los residuos generados, salvo que el interesado demuestre mediante estudios y pruebas en laboratorios acreditados un porcentaje diferente que garantice las especificaciones técnicas del proyecto, así como del correspondiente estudio costo-beneficio; además deben indicar en el plan de manejo de residuos el reuso que se les dará a dichos materiales.

c) Para aprovechar los residuos identificados como residuos sólidos en la sección **C** de la tabla 2, el generador debe buscar por su cuenta de preferencia su valorización.

d) Los residuos de la construcción clasificados en las secciones **A** y **B** de la tabla 2, el generador puede reutilizarlos en el sitio de generación o en otros sitios de aprovechamiento, pero debe indicarlo en el plan de manejo de residuos.

e) Es obligatorio que en las siguientes obras se debe al menos sustituir un 25% de los materiales vírgenes por materiales reciclados, siempre y cuando éstos materiales cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto, el costo sea el más conveniente para

el interesado o que demuestre mediante estudios y pruebas en laboratorios acreditados un porcentaje diferente que garantice las especificaciones técnicas del proyecto, así como del correspondiente estudio costo-beneficio:

- Sub-base en caminos.
- Sub-base en estacionamientos.
- Carpetas asfálticas para vialidades secundarias.
- Construcción de terraplenes.
- Relleno sanitario.
- Construcción de andadores o ciclo-pistas.
- Construcción de lechos para tubería.
- Construcción de bases de guarniciones y banquetas.
- Rellenos y pedraplenes.
- Bases hidráulicas.

f) En caso de presentarse otros usos de los materiales reciclados producto del tratamiento de los residuos de la construcción, éstos deben sustentarse y demostrar su uso con análisis o pruebas correspondientes.

2.3.5 Disposición final

Se establece que se deben enviara a disposición final en sitios autorizados

a) aquellos residuos clasificados en la sección **A** de la tabla 2 que no se envíen a reciclaje.

b) los residuos clasificados en la sección **B** de la tabla 2 que no sean posible reusarlos.

c) Los residuos sólidos identificados en la sección **C** de la tabla 2 que no puedan ser valorizados o comercializarlos.

También se establece que los residuos peligrosos o suelo contaminado que se generen, se deben disponer o confinar conforme a la legislación aplicable.

2.3.6 Experiencias en el D.F. en la aplicación de la NADF-007-RNAT-2004

A casi un año de que se promulgó la NADF-007-RNAT-2004 en el Distrito Federal, se han tenido resultados satisfactorios. En la tabla 3 se presenta un resumen de los registros de los Planes de Manejo de residuos de la construcción en el D.F.

Tabla 3. Planes de Manejo de residuos de la construcción registrados en 2006

Tipo de plan de manejo	Planes de manejo tramitados	Generación reportada ton/día	Generación reportada m3/día
Planes de manejo NO sujetos a LAUDF	1	1539.52	1184.24
Planes de manejo LAUDF	25	116.89	89.92
Planes de manejo para trámites de Impacto Ambiental	17	3929.27	3022.52
Total	43	5585.68	4296.68

2.4 Mercado Ambiental de los Residuos C&D

A raíz de la obligación que tienen los generadores de residuos C&D en el Distrito Federal de reusar y reciclar parte de los residuos producidos en sus actividades de construcción o demolición, derivado de la entrada en vigor de la NADF-007-RNAT-2004, se ha creado un naciente mercado ambiental de estos residuos.

En 2004 inicia sus operaciones la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V. como filial de la compañía La Esperanza dedicada a la explotación de una mina y a la comercialización de materiales térreos para la construcción. A decir de sus directivos, actual-

mente su empresa es la única planta en el Distrito Federal, pero para cubrir la demanda futura se requieren al menos 20 plantas más. (Ingeniería Civil-CICM, 2007)



Figura 1. Planta de reciclaje de residuos C&D en el D.F.

Dentro del Foro Internacional “Hacia la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos” organizado por la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. y efectuado en mayo de 2006 en la Ciudad de México, el M.I. José Sabino Varela Arámburo presentó la ponencia “El mercado ambiental de los residuos de la construcción”. En ella propone poner en marcha un plan de manejo de los residuos de la construcción con proyección a 20 años, y presenta un esquema del mercado potencial de estos residuos señalando los principales actores. (PAOT, 2006)

2.4.1 Bases del mercado

En general todo mercado está sujeto a la oferta y a la demanda de los productos a intercambiar o comercializar. Asimismo, es necesario identificar a los agentes que intervienen en la cadena comercial. En el caso del reuso y reciclaje de residuos C&D los principales componentes de la cadena del mercado ambiental se pueden considerar como sigue:

La oferta puede partir de los siguientes agentes

Generadores: Los generadores son los que de manera inicial pueden ofertar los residuos C&D. En la construcción es más factible que se oferten materiales con suficiente demanda comercial, como: madera, metales y cartón y papel. La mayor parte de estos residuos tienen como destino plantas de reciclaje. A diferencia, la generación de residuos en las actividades de demolición es más variada. En este caso es posible rescatar diferentes elementos de las edificaciones que están en un estado de conservación adecuado y que permite comercializarlos para ser utilizados nuevamente, como: puertas y ventanas de hierro forjado, piedras de ornato y cantera.

En ambos casos los generadores tienen la oportunidad de comercializar de manera directa estos residuos ya sea para reuso o para reciclaje. Se puede decir que con ellos se inicia la cadena comercial de los residuos C&D.

Transportistas: cuando los generadores no pueden transportar sus residuos o les resulta más económico pagar a terceros para ello, aparece el siguiente grupo de la cadena comercial, los transportistas. Éstos tienen la función de recolectar, transportar y llevar a algún destino permitido los residuos. Los posibles destinos son generalmente: a) sitios donde se usarán nuevamente; b) plantas para el reciclaje, por ejemplo para producir material térreo como agregados, fábricas de papel, cartón, fundidoras de hierro, etc.; c) sitios de disposición autorizados, como celdas especiales de rellenos sanitarios.

Recicladores: Es un grupo muy importante en la cadena del mercado ambiental de los residuos C&D. Son los que fungen como intermediarios comerciales entre los genera-

dores y los consumidores. Gracias a su actividad los materiales residuales se revalorizan y con ello se logra integrarlos al flujo de materiales que utiliza la sociedad. Las plantas recicladoras tradicionales son las fábricas de papel y cartón, y fundidoras de metales y vidrio. A éstas se están agregando plantas recicladoras de cascajo y de plástico.

Comercializadores: se trata de un grupo encargado de adquirir los materiales residuales recién generados, principalmente para su venta como elementos constructivos usados o de segunda mano que normalmente son más económicos que los nuevos. También comercializan los residuos que adquieren directamente de los generadores que en gran volumen lo venden a las plantas de reciclaje. Es posible que también comercialicen los materiales reciclados adquiridos en las plantas para tal fin.

Consumidores: Los consumidores de residuos C&D es el grupo que cierra la cadena comercial y es a final de cuentas quien hace posible, a través de la demanda, que los residuos valorizados tengan uso nuevamente. Quizá este grupo sea el de mayor dificultad en el convencimiento de utilizar materiales usados o reciclados, dado que es muy reciente la oferta de los materiales reciclados. El desconocimiento de las características de estos materiales reciclados y la desconfianza que la mayoría de la gente tiene respecto a la calidad de los materiales reciclados hace que la demanda de ellos a la fecha sea lenta.

Sin embargo para conocer el posible comportamiento del mercado, es necesario realizar un análisis detallado de lo que se denomina mercado objeto, por lo que se requiere describir a los clientes del mercado y

cuál es su comportamiento. El análisis de mercado debe estar constituido por varios aspectos, como:

- Tamaño del mercado: Identificar y cuantificar el mercado potencial.
- Características del mercado: son las especificaciones del mercado que pueden afectar el desarrollo de la empresa.
- Segmentación del mercado. Consiste en dividir al mercado en categorías y elegir un segmento;
- Descripción y análisis de materias primas, productos y subproductos (presentación, empaque, embalaje; naturaleza, calidad, atributos y necesidades que satisfacen)
- Características de los principales insumos y productos.
- Canales de distribución y venta
- Condiciones de mecanismo de abasto de insumos y materias primas.
- Plan de estrategia de comercialización.
- Estructura de precio de los productos y subproductos y políticas de venta
- Análisis de competitividad.
- Carta de intención y/o contrato de compra y venta de materias primas y productos.

III. RESULTADOS

3.1 Hallazgos principales

Los principales hallazgos de la revisión de la legislación relativa al manejo de los residuos C&D son los siguientes:

- Los residuos de la construcción y demolición están clasificados dentro de los de manejo especial
- Los generadores deben presentar un Plan de Manejo de sus residuos donde

establezcan la forma y las condiciones en que manejarán sus residuos, buscando preferentemente su valoración y aprovechamiento con el fin de reducir los impactos ambientales negativos debido principalmente a su inadecuada disposición.

- Las autoridades federales, estatales y municipales tienen la obligación y función de promover y realizar estudios de diagnóstico que sirvan de base para establecer un Plan específico para el manejo de los residuos en el ámbito de su competencia y de vigilar y hacer cumplir que los generadores de residuos realicen y presenten un Plan de Manejo que esté de acuerdo con el Plan que propongan las autoridades.
- La experiencia que se ha tenido en el Distrito Federal en un año de aplicación de la norma ambiental NAF- ha sido satisfactoria y un porcentaje significativo de los generadores han iniciado con el cumplimiento de esta norma.
- Las entidades federativas y de los municipios deben elaborar e instrumentar los programas locales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- En el Distrito Federal entró en vigor la norma ambiental NADF-007-RNAT-2004, que es la primera en el país en regular el manejo de los residuos de la construcción y demolición.
- Se carece de Normas específicas para apoyar a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su reglamento.

3.2 Propuesta de Programa de Manejo de residuos C&D

Enseguida se presenta una propuesta general que puede ser una base para auxiliar a los municipios a elaborar un Programa Municipal de Manejo Integral de los residuos C&D.

3.1.1 Elaboración de estudios

En primer lugar se debe contar con el personal técnico capacitado en manejo de residuos en general y de mercado para realizar por ellos mismos o por contrato a empresas especializadas, estudios encaminados al control y al aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición. Algunos de estos estudios son los siguientes:

a) De diagnóstico para:

- Cuantificar y caracterizar los residuos a través de estudios de generación.
- Conocer los impactos ambientales, fundamentalmente los de carácter negativo, a través de un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental

b) De aspectos Legales para:

- Conocer las responsabilidades de las autoridades, fundamentalmente las referentes al municipio, así como de los particulares, respecto al manejo de los residuos C&D.
- Identificar las omisiones y aspectos legales faltantes o complementarios, como normas ambientales locales, para especificar las acciones obligatorias y recomendables para lograr el adecuado manejo y el aprovechamiento de los residuos. Con base en los resultados promulgar la legislación faltante o complementaria.

c) De mercado para:

- Identificar a los actores de una posible cadena comercial, así como el mercado potencial de estos residuos.
- Analizar los materiales con mayor factibilidad de comercializarse.
- Identificar nichos de inversión privada para participar en el reuso y reciclaje de los residuos C&D como plantas recicladoras.

d) Técnicos

Para estudiar, a través de Instituciones académicas y de investigación o bien de empresas privadas especializadas, la calidad y resistencias de los materiales a ser reusados o provenientes del reciclaje para formar parte de nuevos productos que se integrarán a la construcción de distintas obras y edificaciones.

3.1.2 Elaboración de mapas de generadores

Elaborar un inventario de generadores en el tiempo de acuerdo a los Planes de desarrollo municipal, incluyendo las obras federales, estatales y municipales así como las de la iniciativa privada (hoteles, centros comerciales, hospitales,

3.1.3 Promulgación de la legislación local

Para poner en práctica los Programas de manejo de estos residuos es sumamente importante que estén apoyados legalmente; para ello es necesario promulgar la legislación necesaria que regule localmente el manejo de los residuos incluyendo el fomento a la valorización de los mismos.

3.1.4 Establecimiento de incentivos fiscales.

Es conveniente analizar la posibilidad de ofrecer incentivos fiscales a los particulares que inviertan en negocios cuyo fin principal sea el participar en el mercado ambiental de los residuos C&D.

3.1.4 Seguimiento y vigilancia.

Para el cumplimiento de los Programas locales, es necesario que se lleve a cabo una completa y eficiente aplicación de las acciones y la vigilancia del cumplimiento de la legislación por parte de los particulares.

IV. DISCUSIÓN

La legislación referente al manejo de los residuos peligrosos, urbanos y de manejo especial es suficiente en los aspectos generales establecidos en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su reglamento, pero su aplicación práctica es prácticamente nula, pues se continúa en la mayor parte de las poblaciones de todo tamaño disponiendo clandestinamente de manera inadecuada.

Algunos municipios destinan lugares para disponer los residuos C&D pero que carecen de estudios para evaluar los posibles impactos ambientales.

Las acciones emprendidas en el Distrito Federal para legislar respecto a la valorización y el manejo adecuado del los residuos que se discuten, son un buen inicio que puede ser seguido en otras entidades del país.

V. CONCLUSIONES

- En México sólo recientemente se cuenta con legislación que de manera general regula el manejo de los residuos peligrosos, urbanos y de manejo

especial, entre estos últimos los de la construcción y demolición.

- Se carece de Normas que complementen las especificaciones de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su reglamento.
- Son escasos los estudios técnicos respecto al reuso y reciclaje de los residuos C&D que apoyen la legislación específica para regular su manejo.
- Las autoridades de la mayoría de los estados y municipios carecen de Planes de Manejo de residuos de la construcción.
- En México es incipiente el mercado ambiental de los residuos C&D y las autoridades gubernamentales de todos los niveles debieran contribuir al fomento del reciclaje de estos residuos, al considerar dentro de los Programas locales acciones que permitan la valorización de este tipo de residuos.
- En el país sólo existe una planta de reciclaje de residuos de la construcción y demolición, ubicada en la Delegación Iztapalapa en el Distrito Federal

VI. REFERENCIAS

JICA, 1999. Estudio para el manejo de los residuos sólidos para la Ciudad de México. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (Vol. I) Kokusai Kogyo Co., LTD.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, DOF, 8 de Octubre de 2003.

Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, DOF, 30 de Noviembre de 2006

Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, 2006. Norma Ambiental NADF-007-RNAT-2004.

Tchobanoglous, G., 1993. Integrated Solid Waste Management. Mc. Graw-Hill

Vega, Ricardo E., 2001. Tesis: Reciclaje y reaprovechamiento de residuos de la construcción y demolición. Posgrado en Ingeniería Ambiental, UNAM. México.

varela, José S. El mercado ambiental de residuos de la construcción; Foro Internacional: "Hacia la gestión integral de residuos sólidos urbanos" PAOT, mayo de 2006.



Conclusiones

Conclusiones

En el encuentro de expertos en residuos sólidos participaron especialistas de 15 instituciones de educación superior, presentaron 31 trabajos organizados en seis mesas y tres conferencias magistrales sobre la temática de los residuos sólidos en México.

La primera mesa de trabajo fue coordinada por el Dr Gerardo Bernache, en esta se presentaron estudios de caracterización y generación de residuos. Se presentaron cinco trabajos y se abordaron diversos tipos de caracterización de residuos producidos por diversos tipos de generadores, en cuatro casos los estudios se centraron en generadores domésticos y en un caso en generación institucional (campus universitario) de residuos.

La generación de residuos domésticos confirma la presencia dominante de residuos orgánicos tanto en contextos urbanos (Morelia, Tepic, Mexicali y en los ejidos Manuel Benavides y Ojinaga de Chihuahua). También en el caso de los residuos universitarios, la predominancia es de orgánicos de jardinería. Este hecho nos invita a pensar en la propuesta de tratamiento de orgánicos a través de composteo y de alimentación de animales (cuando los residuos son de cocina). Sin embargo, el paso decisivo para empezar a trabajar en el tratamiento de residuos orgánicos no se ha dado por parte de las autoridades responsables del manejo de residuos.

En algunos casos, como en el campus de Mexicali de la UABC, los esfuerzos por separar los residuos y promover su tratamiento están en proceso.

En cuanto a la gestión de los residuos, en los casos de Tepic, Morelia y Mexicali

los residentes participan poco y le dejan la responsabilidad a las autoridades. Se comentó de un programa que involucra a las asociaciones de vecinos en Tepic, un programa que apenas surgió en el 2006 y que involucra a una docena de colonia. Sin embargo, parece que las autoridades no han respondido de manera adecuada con su parte del programa en cuanto a la promoción y el apoyo para separar y realizar acopio de materiales separados.

En cuanto a la gestión de residuos especiales como son los residuos peligrosos de origen doméstico en Morelia, el ayuntamiento no tiene aun una propuesta de manejo y estos residuos siguen mezclándose con los residuos domésticos y van a parar al vertedero municipal sin ningún tipo de manejo adecuado.

El caso más problemático, en cuanto al manejo de los residuos se presenta en Chihuahua, en el Área de protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena, donde la gestión municipal deja mucho que desear, solo se recolecta de manera irregular en la cabecera municipal. El problema es que en otras localidades de los dos municipios (Ojinaga y Manuel Benavides) los habitantes son los que, de forma inapropiada, disponen de sus residuos en barrancones, solares y alrededor de sus viviendas. La quema de residuos es la práctica más común en cuanto a su manejo. En este caso hay mucho por hacer, empezando desde lo más básico que es una recolección municipal adecuada, para luego desarrollar, como lo propone el equipo de investigación de Chihuahua, una estrategia de manejo más adecuada a

esta zona de protección ecológica en el Cañón de Santa Elena en la zona fronteriza de Chihuahua.

En cuatro de los estudios la estrategia de muestreo que siguieron los equipos de investigación parte de la información censal, de los datos de los AGEBs que proporciona el INEGI. A partir de los cuales se obtiene información relevante de la distribución de la población en el municipio o en la zona urbana de interés.

También es un elemento importante la consideración de los estratos socioeconómicos a los que pertenecen las familias a muestrear. Los estratos bajos, medios y altos definidos de acuerdo a los ingresos. Sin embargo, no queda claro que la definición de estas clases es uniforme, se recomienda revisar que las definiciones sean uniformes para poder comparar los datos obtenidos para familias que pertenecen a cierta clase en diversos estudios desarrollados en ciudades de la república mexicana.

Otro aspecto que surge de las investigaciones es que en las ciudades mexicanas las colonias o AGEBs pueden caracterizarse de manera genérica como pertenecientes a una clase de ingresos y definirse como un sector de clase baja, media o alta. Pero en la realidad, hay una variabilidad en los ingresos de las familias y se da comunmente el caso de una variabilidad de familias con diversos niveles de ingreso y en una colonia pueden encontrarse familias muy pobres, pobres y de clase media; o bien en una colonia de clase media se pueden encontrar tanto familias de clase baja como de clase alta. Este es un reto para los investigadores, en cuanto a la recomendación de constatar y clasificar correctamente a las familias que se

incluyen en los muestreos para representar ciertos grupos, sectores o clases que se tienen como objetivo en su planteamiento de investigación.

Por otra parte, la forma de seleccionar las viviendas para los estudios fueron de tres formas:

- Selección por sorteo de número de vivienda en todas las manzanas seleccionadas en los AGEBs, es decir se sortearon números y se empezó de una esquina definida (por ej: la esquina norponiente) y siguiendo la dirección de las manecillas del reloj se seleccionaron las viviendas de acuerdo a los números sorteados; es decir, la quinta, la doceava, la veinteava vivienda y así sucesivamente. El caso de Tepic.
- Selección de viviendas por sorteo, para luego visitarlas, entregarles bolsas y visitarlas de nuevo para ver cuáles si las entregan. En este caso un porcentaje del 10 al 20% de las familias decide no participar y no se tiene una estrategia para sustituirlas. El caso de Morelia.
- En otros casos se identifican las viviendas y las familias que cumplen con ciertas características, para luego definir las que pueden o no participar, en este tipo de estrategia de muestreo no se tiene un número de muestra predefinido y la participación depende de un número de factores que no siempre están en manos del investigador. El caso de Mexicali.

La recomendación es tratar de analizar las implicaciones que tienen las

estrategias de muestreo, la forma en que se realiza propiamente la selección de viviendas, la representatividad de este tipo de muestreo y la implicaciones que estos tipos de muestreo tienen para los resultados que reportamos y que generalizamos, en muchos casos, a toda la población de familias en una zona urbana.

Otro elemento muy importante son los formatos de captura de la información obtenida y el uso de los formatos que establecen las Normas Mexicanas, mismos que fueron desarrollados en la década de los ochentas.

- En ciertos casos los formatos captan la información necesaria para un proyecto de investigación,
- En otros casos como en los estudios de residuos peligrosos domésticos y en los estudios de residuos sanitarios domésticos no hay formatos definitivos y hay variaciones en los formatos usados por los investigadores.

Se recomienda formar un grupo de trabajo que revise los formatos utilizados, sus pros y sus contras en cuanto a la captura de información necesaria y sobre todo, manteniendo parámetros estandarizados para poder realizar comparaciones entre los datos obtenidos en diversos estudios en ciudades de la república mexicana.

Compartir y difundir modelos estadísticos para el estudio y software novedoso para el manejo y análisis de datos.

Por último, el estudio de caso institucional del campus Mexicali de la UABC es interesante, así como el trabajo presentado en la mesa 6 sobre el programa de manejo de residuos en el campus de la UAM-A en el DF. Estos

dos estudios tienen elementos comunes que pueden apreciarse mejor al tenerlos juntos en una misma mesa.

La segunda mesa, efectos ambientales y factores de riesgo asociados al manejo de residuos sólidos, fue oordinada por el M. C. Carlos A. González Razo. En esta mesa se presentaron cinco trabajos. En los que abordaron los factores de riesgo asociados al manejo y disposición de los residuos. Se analizaron los principales problemas que ocasiona la disposición inadecuada de los residuos sólidos sobre la salud pública, entre los que se encuentran las enfermedades gastrointestinales, irritación de mucosas, así como a la piel derivada de la exposición a aguas contaminadas por los lixiviados, humos y químicos contenidos en los residuos sólidos.

Entre las principales conclusiones de la mesa están: La inadecuada disposición de los residuos sólidos ocasiona problemas ambientales al existir producción de lixiviados, los cuales no son tratados ni manejados adecuadamente. Estos últimos se mencionó que están afectando seriamente los mantos freáticos al filtrarse estos residuos al suelo. Otro problema serio, es la producción de biogás en los tiraderos, ya que además de contaminar y contribuir al efecto invernadero, constituye un serio riesgo por la quema o explosión de éste.

Otra conclusión relevante, fue el llamado al consumo responsable por parte de la población para disminuir la tasa de generación de residuos sólidos, pero sobretodo la total carencia de una política de estado para el fomento de la educación y cultura ambiental que se refleje en planes permanentes de disminución de los residuos sólidos.

La Mesa 3 fue coordinada por la Dra. Ma. Elizabeth Ramirez Barreto, abordó las herramientas para la gestión de residuos sólidos, se analizaron aspectos relacionados con la medición de la generación de residuos. Los análisis que se presentaron fueron desde diferentes niveles pero complementarios. En uno de estos trabajos se presentó la necesidad de observatorios urbanos para monitorear la problemática ambiental sobre residuos sólidos a través de indicadores locales y de diversos niveles con el propósito de contrastar diferentes estudios para evaluar y dar seguimiento a las políticas públicas.

Otros trabajos trataron sobre la necesidad de utilizar herramientas estadísticas para probar modelos de pronóstico sobre generación de residuos; además de la forma de manejar las variables que intervienen en estos modelos. Y finalmente, las posibilidades de análisis que ofrecen los modelos basados en Sistemas de Información Geográfica para ubicar y relacionar, espacialmente, la generación de residuos sólidos con variables socioeconómicas contenidas en bases de datos disponibles como las del INEGI.

En el trabajo sobre monitoreo ambiental se resaltó la falta bases de información disponibles que integren todos los estudios realizados por diferentes instancias públicas y privadas, así como la imposibilidad de contrastar la información en un marco que identifique y jerarquice los problemas ambientales provocados por la generación de residuos. Ante ésta falta de información, instancias como la SEMARNAT y el Observatorio Urbano Local de Mexicali el cual pertenece a la Red Global de Observatorios Urbanos de

las Naciones Unidas se han planteado generar una base de datos con esta posibilidad. Esta primera reunión de expertos se presenta como una forma de contar con información sobre residuos sólidos a nivel local y nacional, por lo que es necesario revisar procedimientos y metodologías utilizadas para hacer posible comparar, agregar y darle seguimiento a la misma. Con respecto a los modelos predictivos de generación de residuos sólidos se presentó la necesidad de trabajos que permitan conocer cuáles son las variables más significativas que influyen en la generación, formas diferentes de trabajar el comportamiento de estas variables; así como la manera de apoyar a los tomadores de decisión a través de modelos de pronóstico más complejos que reflejen de mejor manera la realidad. Para ello se plantea como reto, el explorar más sobre modelos que incluyen nuevas teorías y tecnologías, así como hacerlas accesibles a los estudiosos en la materia de residuos y tomadores de decisión.

En diferentes mesas se presentaron trabajos basados en Sistemas de Información Geográfica lo que demuestra la utilidad de estos modelos. Sin embargo, aún falta mucho por desarrollar modelos más complejos de análisis. Además de los modelos estadísticos comúnmente utilizados para el estudio sobre generación de residuos, deberá considerarse la necesidad de utilizar mayores recursos tecnológicos y el dominio de otras habilidades para el manejo de la dimensión espacial por parte de los expertos.

En la Mesa 4, se abordó el tema de los Rellenos sanitarios y fue coordinada por el Dr. Otoniel Buenrostro Delgado.

En esta mesa se presentaron cuatro trabajos, de investigación básica. Dos de los trabajos se realizaron en condiciones de laboratorio, en el cual el diseño experimental incluye la simulación de condiciones de tiradero en el laboratorio. Los otros dos son estudios realizados en campo sobre los efectos de los contaminantes en suelo y agua subterránea. El primer trabajo, pretende probar si la presencia de materia inorgánica (plásticos, vidrios, metal, etc.) influye en la tasa de producción de metano de los residuos sólidos, particularmente tratando de definir los rangos de proporción de materia orgánica que no causan una diferencia en la producción de metano.

La relevancia de los resultados se enfocan en dos aspectos, buscando continuar hacia escalas mayores de experimentación: (a) recomendaciones de manejo de un relleno sanitario con miras a aumentar las tasas de producción de metano, y (b) los resultados pueden ser relevantes también para vertederos controlados, donde la presencia de materiales inertes suelen ser el único esqueleto que permita intersticios para el flujo de gases.

El segundo trabajo tuvo como objetivo definir la extensión y dirección de flujo de la pluma contaminante en el acuífero ocasionado por el relleno sanitario ubicado en la Ciudad Guadalupe Victoria (Km 43, municipio de Mexicali). Esto básicamente porque aunque la precipitación es escasa (menos de 60 mm anuales) la aplicación periódica de agua para sofocar incendios y los riegos agrícolas en los alrededores del relleno sanitario elevan

el nivel freático y aceleran el movimiento de la pluma contaminante. El objetivo del tercer trabajo fue llevar a cabo un fraccionamiento químico para determinar la disponibilidad de Cu, Pb, Zn, Cd y Ni en suelos agrícolas adicionados con lodos a 0, 2, 3, 5 y 7 años para evaluar riesgos de toxicidad. La concentración total de metales pesados se encontró por debajo de los límites permisibles. Para Cu y Ni las concentraciones más altas se encontraron a 5 años, mientras que para Cd y Zn a 2 años. Se determinó que la fracción 4 (ligada a óxidos de Fe y Mn) fue la que presentó mayor concentración de metales en todos los sitios, sugiriendo baja disponibilidad metálica.

El cuarto trabajo tuvo como objetivo monitorear la degradación anaeróbica de los RSU, simulando lluvia mediante la adición de agua. El estudio se realizó en biorreactores a escalas laboratorio (164.8 g) y piloto (5.8 kg). Se dio seguimiento a la variación de la MO y del pH en el lecho de RSU. Se estimó la capacidad de campo mediante los lixiviados producidos, y se les analizó pH, conductividad, metales, DQO y DBO₅.

Los resultados obtenidos de la caracterización de los lixiviados de RSU del tiradero "El Socavón", sugieren que la experimentación corresponde a la fase acidogénica de la fermentación anaeróbica de los RSU.

Entre las principales conclusiones derivadas de la discusión de la sesión de esta mesa de trabajo fueron que:

- a) se requiere de una mayor vinculación entre los investigadores que hacen investigación básica y experimental, ya que los primeros carecen de la

perspectiva del problema real de contaminación que ocasiona, básicamente la disposición inadecuada de los residuos sólidos en el país.

- b) Es importante que las investigaciones terminen hasta la culminación de propuestas que resuelvan el problema de la disposición inadecuada de los residuos sólidos en el país.

La mesa 5 reciclaje y tratamiento de residuos fue coordinada por la Dra Liliana Márquez Benavides. En esta mesa se presentaron siete trabajos, los cuales incluyeron procesos de tratamiento de residuos, pero no reciclaje. Las tecnologías presentadas en los trabajos fueron Compostaje aerobio, Tratamientos químicos, aprovechamientos de residuos en tecnologías y biotecnologías para el tratamientos de residuos.

La percepción de las experiencias en cuanto a producción de biogás son dispersas, los trabajos o equipos, por desconocimiento de otros grupos de trabajo no han logrado una uniformidad de obtención de resultados.

Un producto deseable de un evento como este podría ser lograr una uniformidad de estudios productores de biogás. El lograr uniformizar metodologías permitirá eventualmente una comparación efectiva de resultados. Las técnicas de tratamiento aerobia, desde el vermicomposteo hasta el tratamiento aerobio de biosólidos constituyen un tema que pudiera considerarse per se como una sola temática. Como primera experiencia, el presentar todo el tratamiento de RS independientemente de la naturaleza del tratamiento fue interesante, pero sería deseable lograr presentar un

panorama nacional de tratamiento aerobio y químico.

La última mesa, planeación y manejo de residuos, fue coordinada por la Dra. Carolina Armijo de Vega. En esta mesa se presentaron seis trabajos muy diversos entre sí pero todos de suma relevancia para las actividades de planeación y operación de programas integrales de manejo de residuos sólidos.

Las presentaciones de los trabajos versaron sobre cuatro temas principales: 1) manejo de residuos específicos: residuos peligrosos biológico infecciosos y residuos de manejo especial provenientes de la construcción y demolición, 2) propuesta de manejo de residuos en instalaciones específicas (un parque y una institución de educación superior), 3) planificación para la gestión de residuos a nivel estatal y 4) consideración de experiencias de manejo de residuos en países desarrollados para ser utilizadas en México.

En conjunto los trabajos expuestos en esta mesa demuestran la necesidad de visualizar el problema de manejo de residuos como un conjunto de acciones diversas pero relacionadas entre sí en las que deben participar todos los niveles de la sociedad –desde las autoridades Federales, Estatales y Municipales hasta las ONG's, instituciones educativas, organizaciones de vecinos, y la sociedad en general. Para que esta participación conjunta sea viable deberá ser concebida como una necesidad y no como una imposición. Al mismo tiempo, y para lograr la atención hacia la necesidad de un manejo integral de los RS deberá de cambiar la forma lineal en la que se conciben y manejan en México para cambiar hacia una forma cíclica en la

que los residuos son reintroducidos al flujo productivo. De esta forma, grandes cantidades de residuos dejarán de ser dispuestos en rellenos sanitarios y se valorizará su potencial comercial, energético y de transformación.

En este mismo sentido se propuso dejar de ver a los rellenos sanitarios como cementerios de residuos y en su lugar se propone concebirlos como lugares de tránsito de los residuos de los cuales éstos podrían ser rescatados y aprovechados posteriormente.

Se propuso tomar en cuenta las acciones que han llevado a otros países a contar con programas exitosos de manejo de residuos con el fin de imitar prácticas susceptibles de ser adaptadas al contexto mexicano.

Un punto específico tratado fue la ausencia de regulación para los pequeños generadores de RPBI entre los que se encuentran los residuos generados por los profesionales de la salud bucal. De acuerdo a la normatividad vigente estos generadores están exentos de manejar sus residuos como residuos peligrosos por lo que pueden ser desechados como RSM. El principal problema de esto es el derivado del riesgo a la salud por el volumen que, en conjunto, se genera si se considera que existe un gran número de odontólogos. Ante este panorama deberán buscarse alternativas para la autogestión de los RPBI producidos por pequeños generadores.

Una conclusión general que puede ser derivada de los trabajos expuestos en esta mesa es la necesidad de una planeación del manejo de residuos que considere las repercusiones potenciales en los ámbitos social, técnico, ambiental y económico. De esta manera

desde su concepción el manejo de los residuos contará con elementos que permitirán la actuación de los involucrados en actividades encaminadas al aprovechamiento integral de los residuos y no desgastarse en actividades de remediación y compensación de daños ambientales y sociales.

Finalmente es importante resaltar que como resultado del trabajo de análisis y discusión de los expertos que participaron en el encuentro se enfatiza que para avanzar en este campo es necesario discutir y analizar los problemas identificados con estrategias de muestreo de viviendas y su representatividad de la población objetivo para homogenizar criterios.

Así como revisar y proponer formatos estandarizados y actualizados para registro de información de los proyectos de investigación: caracterización, residuos peligrosos domésticos, residuos sanitarios y otros.

También es necesario promover el desarrollo de una línea de análisis de riesgo y estudios sobre impacto de la contaminación en la salud de la población. Invitar e incluir a profesionales del sector salud, para que se integren a estos grupos de trabajo.

Además es importante definir y proponer variables para el registro de datos en los proyectos de campo. Nuevas estrategias de captura de bases de datos. Posibilidad de desarrollar formatos estandarizados de captura en línea a partir de un servidor al que podamos acceder los miembros de la Red. Así como tener presente que tenemos una oportunidad de trabajo

interdisciplinario e interinstitucional con el fin de vincular investigación básica y aplicada.

En particular fortalecer y ampliar los estudios sobre la disposición de residuos sólidos y su impacto ambiental y sobre la población. Uniformar metodologías de estudios de laboratorio, producción

de lixiviados y de biogases. Estudios de reciclaje y recuperación de residuos.

Se hace necesario desarrollar propuestas para las autoridades en estrategias, planes y programas de manejo de diversos tipos de residuos, con especial atención en el tratamiento y disposición final.