00381
5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ciencias

División de Estudios de Posgrado

"LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES. CLASIFICACIÓN DE GENERADORES Y MODELOS DE GENERACIÓN POTENCIAL"

T E S I S

Que para obtener el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)

P R E S E N T A :
M. EN C. OTONIEL BUENROSTRO DELGADO

Director de Tesis: Dr. Gerardo Bocco Verdinelli

México, D.F. 2000

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

Resúmen.....3

Abstract.....5

1. El proyecto de investigación.....7

2. El trabajo de investigación.....15

3. Classification and assessment of municipal solid wastes and sources in developing countries
Buenrostro, O., Bocco, G., Cram, S. y Garza, J.
Resour. Conserv. (enviado).....24

4. Urban solid waste generation in developing countries
Buenrostro, O., Bocco, G. y Bernache, G.
Waste Manage. Res. (enviado).....41

5. Forecasting generation and composition of urban solid waste
Buenrostro, O., Bocco, G. y Vence, J.
J. of the Air and Waste Manage. Assoc. (enviado).....61

6. Análisis de la generación de los residuos sólidos en los mercados municipales de Morelia (solid waste generation in markets of Morelia)
Buenrostro, O., Bernache, G., Cram, S y Bocco, G.
Rev. Int. Contam. Ambient. 15 (1) 27-32, 1999.....79

7. La digestión anaeróbica como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales (Anaerobic digestion as alternative treatment of the organic solid waste fraction generated in markets)
Buenrostro, O., Cram, S., Bernache, G. y Bocco, G.
Rev. Int. Contam. Ambient. (aceptado).....86

8. Conclusiones y recomendaciones.....102

RESÚMEN

Esta investigación aborda desde una perspectiva interdisciplinaria, los aspectos sociales y ambientales del problema de la generación de residuos sólidos (RS). Las premisas del trabajo fueron: 1) La composición y generación de RS en México tiene un patrón similar al de países desarrollados; sin embargo, la gestión de éstos se efectúa bajo criterios inadecuados, comunes en los países en vías de desarrollo. Esto es una de las causas principales del problema ambiental que ocasionan los RS en el país; 2) las clasificaciones actuales de RS propician confusión y dificultan la interpretación y comparación de resultados de los análisis de generación y 3) es requisito indispensable para la planeación y gestión adecuada de los RS la disponibilidad de datos socioeconómicos, y de producción de RS de las diferentes fuentes generadoras en una zona urbana en particular.

A partir de estos tres supuestos se propone una clasificación de generadores de residuos sólidos municipales (RSM) con base en la actividad económica, y que relaciona a cada generador con un tipo de residuo. La clasificación divide las fuentes de generación en tres categorías: ciudad, industria y campo. De éstas se derivan siete clases de generadores: 1) residenciales (viviendas), 2) comerciales (comercio formal e informal), 3) institucionales, 4) construcción, 5) agropecuarios, 6) industriales y 7) especiales.

Para probar la clasificación y obtener datos sobre generación y de parámetros socioeconómicos se tomó como estudio de caso la ciudad de Morelia, Michoacán, México. Los generadores residenciales se analizaron por estrato socioeconómico y los no residenciales por actividad económica. Simultáneamente se aplicó una encuesta para conocer características socioeconómicas del área. También se cuantificaron los residuos recolectados por el sistema de aseo, para evaluar si existe diferencia entre la cantidad de RS generados y colectados, así como conocer la estacionalidad en la generación.

Se analizó la composición de los residuos sólidos urbanos (RSU), se calcularon coeficientes de generación y se predijo la producción de residuos sólidos residenciales y no residenciales, utilizando regresión lineal múltiple. En el análisis se incluyó el comercio establecido y temporal de mercados y tianguis. De estos últimos se determinó humedad, pH, sólidos totales, fósforo, nitrógeno y potasio, y se evaluó la digestión anaerobia en laboratorio, con un digestor vertical tipo hindú para tratar los residuos orgánicos.

Los resultados mostraron una generación de RSU de 367 ton día^{1}; los generadores residenciales contribuyeron con 321 ton día^{1} (87.4%) y los no residenciales con 46 ton día^{1} (12.6%). De estos últimos, los mercados y tianguis generaron 31 ton día^{1} (8% de la generación de RSU). El ANOVA no mostró diferencia en la generación residencial por estrato socioeconómico, ni tampoco en los no residenciales. La comparación de resultados de la cuantificación de los residuos colectados y generados mostró una diferencia del 15% (55 ton día^{1}), así como una mayor generación durante el invierno y verano.

Las variables que resultaron significativas para predecir la generación de los residuos sólidos residenciales fueron el ingreso económico y la densidad de habitantes por vivienda. El modelo obtenido, con una Pr>F=0.0001 y un R^2=0.075, dió un valor pronosticado de 2.46 k, el cual se acerca al valor observado de 2.49 k. El modelo

significativo para predecir la generación de residuos no residenciales, fue el que incluyó la variable número de horas laboradas por día. El ANOVA de la RLM dió una Pr>F=0.05 y un R^2=0.177; el valor pronosticado de 1.84 k resultó ser el doble de lo observado (*0.925 k*).

Los residuos de mercados contuvieron el 83% de residuos orgánicos y el 17% restante, lo ocupó en orden descendente el papel, cartón, plástico, vidrio y metales. Los análisis físicos y químicos de los residuos dieron valores promedio de humedad de 83.18%, pH 5.06, nitrógeno 11.07, fósforo 0.36 y potasio 0.86; en el efluente fueron nitrógeno 9.43, fósforo 0.31 y potasio 0.63% en peso fresco. La evaluación de la digestión anaerobia determinó un tiempo de retención óptimo de siete días y un 96% de degradación de sólidos totales. Los resultados sugieren que este tipo de fermentación es eficiente para tratar estos residuos, por su alto contenido de humedad, el carácter ácido y la consistencia fibrosa del material.

ABSTRACT

This dissertation encompasses the social and environmental aspects of solid waste (SW) generation from an interdisciplinary perspective. The research was based on the following assumptions: 1) The composition and generation of SW in Mexico are similar to those in developed countries, however, their management is guided by inadequate criteria, same which are common to those prevailing in developing countries. In Mexico, this is one of the main causes of the environmental problems which derive from SW generation; 2) There is confusion in the existing classifications of SW, which makes it difficult to interpret and compare the results of SW generation studies, and; 3) The availability of socioeconomic data and of information about the output of the different SW generation sources is a fundamental requirement for the adequate planning and management of SW.

Grounded on these three assumptions, a classification of the sources of municipal SW (MSW) is suggested based on the economic activity which generates them. Thus a connection between the source and the type of waste is established. The classification categorizes the sources in three divisions and seven classes of sources: 1) residential (*dwellings*) and non-residential; 2), commercial (established and informal commerce); 3) institutional; 4) construction; 5) agricultural-animal husbandry; 6) industrial, and; 7) special.

The city of Morelia, Michoacan, Mexico, was used as a case study in order to test the classification of MSW suggested here, to obtain information about their generation, together with the associated socioeconomic parameters of the sources. The residential sources were analyzed by socioeconomic level and non-residential sources by economic activity. A structured interview was made to evaluate the socioeconomic characteristics of the studied area. Also, a quantification of SW collected by the municipal service was made, in order to determine if there are differences between the amounts of waste refused and collected, and to determine seasonal patterns of solid waste generation.

The composition and rates of generation of urban solid waste (USW) were assessed, and their production was forecasted using linear regression models. The analyses of commercial sources included informal commerce in permanent and temporary (*tianguis*) markets. In these last cases, the pH and the contents of humidity, total solids, P, N and K were measured. Also, the anaerobic digestion of the organic fraction of these SW was evaluated using an Indian type vertical digestor.

The results of the generation study showed a total production of 367-t day^{-1} of USW. Of these, 321-t day^{-1} corresponds to the residential sources (87.4%); non-residential sources produce 46-t day^{-1} (12.6%). Within these last sources, markets and *tianguis* produced 31-t day^{-1} (8% of the total USW produced). The ANOVA failed to show differences among socioeconomic levels of residential and non-residential solid waste generation. A difference of 15% was found between USW refused and collected. The generation of USW increases during the summer and the winter.

The variables that were significant in forecasting residential USW generation were income and number of inhabitants per dwelling. The resulting model forecasts a daily production rate of 2.46 k/dwelling ($Pr>F=0.0001$; $R^2=0.075$). These estimate is close to the observed value of residential USW produced per day (2.49 k/dwelling). For non-residential USW sources, the forecasting model, which was significant, involved the

number of working hours per day. The model forecasted a daily generation of 1.84 k/source of USW ($Pr>F=0.05$ and a $R^2=0.177$), a value which was twice that observed (0.925 k/source).

The composition of commercial USW was 83% organic matter; the remaining 17% were made up, in decreasing amounts, of paper, cardboard, plastic, glass and metals. The physical and chemical analyses of the wastes indicated an average humidity of 83.18%, pH 5.6, 11.07% N, 0.36% P and 0.86% K. The composition of the digested product was 9.43% N, 0.31% P, and 0.63% K (fresh weight). The anaerobic digestion indicated an optimal retention time of seven days and a 96% of debased solids. These results suggest that this type of fermentation is adequate for the treatment of these wastes, due to their high contents of humidity, their acid nature, and their fibrous consistency.

1. EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta la sociedad en la actualidad es el deterioro del ambiente, como consecuencia de una deficiente interacción de la sociedad con la naturaleza (Low *et al* 1993). Ello se refleja en diferentes procesos de degradación, tales como la acelerada tasa de deforestación en los bosques y selvas del mundo, sobretodo en los ecosistemas tropicales y la contaminación en ríos, mares, lagos, suelo y aire, ocasionada por la gran emisión de contaminantes líquidos, sólidos y gaseosos, producto de los procesos productivos (Storgaard *et al* 1991).

El problema se ha acrecentado en los últimos años, al grado que se ha rebasado la capacidad de absorción y regeneración de algunos ecosistemas, ocasionando incluso la extinción de flora y fauna; esto aunado a los problemas de salud pública y disminución de la calidad de vida de la población (Doelman, 1995).

En cuanto a la problemática ambiental ocasionada por la generación de residuos, se muestra una marcada relación entre los niveles de contaminación y la situación geográfica, el tamaño y la dinámica del asentamiento humano y el crecimiento económico. La presión ejercida por el crecimiento demográfico e industrial y la escasa planeación en el uso del suelo y sus recursos han dado lugar a un desarrollo ambientalmente desequilibrado (Jean, 1992).

En México la contaminación por residuos sólidos (RS) se ha agudizado notablemente, pues la cantidad se ha incrementado y la composición se ha vuelto más compleja y heterogénea. De un contenido de 80% de materia orgánica en los años 50, éste descendió a cerca de un 40% en los años 90 (CONADE 1992). Ello hace más complejo su manejo y disposición final, pues cada día se agregan nuevos empaques y productos, muchos de los cuales no se han evaluado suficientemente desde el punto de vista del impacto en la salud de la población.

Existen en el país casi 2,400 municipios, que en general no cuentan con un servicio de recolección eficiente de RS (SEDESOL/INE, 1994). Ello repercute en que éstos se dispongan a cielo abierto en sitios aledaños a los centros de población. Asimismo, los residuos especiales y peligrosos contenidos en la corriente de los residuos sólidos urbanos (RSU), reciben un manejo similar al de estos últimos, ya que la mayoría de los municipios los recolectan y disponen conjuntamente. Otra situación apremiante que deriva del control inadecuado de los RS es el impacto ambiental y a la salud pública, como consecuencia del deficiente control sanitario en la separación de subproductos, la cual se realiza por personas de estratos de población marginadas, entre los que se cuentan muchos menores de edad (Buenrostro *et al* 1999a).

La gestión actual de los RS en México propicia la destrucción de los recursos y deterioro de los ecosistemas, ya que al quemar o enterrar los RS se pierden materiales que pueden reintegrarse a los ciclos biogeoquímicos y a los procesos productivos. De utilizarse los procedimientos adecuados, la fracción inorgánica se puede reutilizar o reciclar, y la fracción orgánica, como fuente de energía o material mineralizable para mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo.

En la ciudad de Morelia, el manejo actual de los RS constituye un serio factor de riesgo ambiental, ya que el sitio en que se depositan no cumple con las normas vigentes para la protección del ambiente, en cuanto a ubicación, confinamiento de los RS y control de lixiviados. Existen en el área fracturas y fallas geológicas y es parte de la zona de recarga natural del acuífero de Morelia. Se calcula que en la zona del relleno

sanitario se encuentran depositadas alrededor de 400,000 toneladas de RS de origen urbano e industrial, las cuales carecen de un sistema de confinamiento eficiente, lo que ocasiona una laguna permanente de lixiviados con altas concentraciones de metales pesados y bifenilos policlorados. Se ha determinado que la fracturación y permeabilidad del suelo ocasiona que la percolación de los lixiviados de los RS que ahí se depositan contamina el manto freático (Israde *et al* 1999).

Para contribuir a esta necesidad, se emprendió una investigación bajo esta perspectiva, tomando como estudio de caso a la ciudad de Morelia, Michoacán. Como primer paso se propuso una estandarización de conceptos para los diversos tipos de RS, así como una clasificación de generadores, con base en la actividad económica. Posteriormente se realizó un análisis de generación de los RSU y de parámetros socioeconómicos; el análisis incluyó el estudio de generadores hasta ahora poco estudiados, como son los mercados y el comercio informal dentro de estos sitios. Se reportan modelos para predecir la generación de RSU, utilizando la regresión lineal, así como resultados de análisis físicos y químicos a los residuos orgánicos de los mercados. Como última fase se propone la fermentación anaerobia para tratar la fracción orgánica de los residuos. A continuación se describen el proyecto de investigación y en los capítulos subsecuentes los resultados de este trabajo.

HIPÓTESIS

Existe una relación entre la actividad económica y el tipo de residuo sólido generado, la cual es factible identificar para elaborar una clasificación de generadores. Con esta clasificación como base y el análisis de variables socioeconómicas es posible establecer modelos de generación que sean replicables y extrapolables.

OBJETIVO PRINCIPAL

Elaborar una clasificación que permita cuantificar los generadores de residuos sólidos municipales (RSM), con base en la actividad económica y desarrollar modelos para predecir la generación total y por subproductos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar una clasificación de generadores de RSM, con base en la actividad económica que permita cuantificarlos.
2. Analizar en una localidad urbana la relación entre la generación y variables socioeconómicas que describan este proceso, tales como la actividad económica, materias primas utilizadas, monto de ventas, ingreso económico, densidad, edad y sexo.
3. Correlacionar los resultados obtenidos del análisis de generación y las variables socioeconómicas seleccionadas, para sobre esta base desarrollar modelos de regresión lineal para predecir la generación de RS.

4. Validar los modelos mediante la confrontación de resultados obtenidos con la metodología propuesta, con datos del análisis de generación.

JUSTIFICACIÓN

En tiempos pasados, se pensaba que el deterioro del ambiente ocasionado por la producción y acumulación de residuos sólidos (RS) era un proceso inherente al desarrollo, y por tal, un efecto con el cual se tenía que aprender a convivir. Sin embargo, la afectación ha alcanzado dimensiones que pone en riesgo el equilibrio de las relaciones de la sociedad actual (WRI, 1991). Ello porque el deterioro ambiental que ocasionan los RS ha rebasado la capacidad de absorción y regeneración del suelo, ocasionando incluso la extinción de flora y fauna, y ocasionando problemas de salud pública y disminución de la calidad de vida de la población (Doelman, 1995).

Con la finalidad de reducir el efecto de los RS en el ambiente, los gobiernos han incluído en sus planes de desarrollo leyes y normas para la protección del ambiente. Se conformaron grupos de investigación, organismos gubernamentales, entre otros, para normar y vigilar el cumplimiento de estos lineamientos. Sin embargo, la preponderación del crecimiento económico, ha relegado la preservación del ambiente y la investigación sobre RS ha quedado a la saga, lo que ha ocasionado, que su generación y acumulación, aumenten al grado de rebasar la capacidad de los gobiernos y de la sociedad para darles una solución adecuada.

En general, la producción de RS obedece a un ciclo de producción y consumo, y el impacto que éstos ocasionan al ambiente y la salud pública son consecuencia del manejo inadecuado de los recursos naturales y de los residuos que se producen de su transformación y consumo. Por ello, las estrategias para contrarrestar el problema ambiental que implica la generación y gestión de los RS, deben incluir criterios de racionalidad ambiental. El concepto de sustentabilidad debe necesariamente extrapolarse hacia el uso y consumo racional de bienes, para de este modo hacer un uso sustentable de los recursos naturales.

Desde el punto de vista técnico existen soluciones para la gestión de los RS. El problema radica en que para seleccionar adecuadamente algún proceso o tecnología específica para el manejo y disposición de RS es necesario contar con datos confiables sobre generación y el efecto de éstos sobre el ambiente y la salud pública, como respuesta a las siguientes preguntas: ¿Qué cantidad de residuos se generan por día y por habitante?, ¿Qué tipo de RS se genera? ¿Quiénes y cuántos son los generadores que intervienen?, ¿Cuál es el efecto de los RS en el ambiente y de los lixiviados en los sistemas de agua subterránea?, ¿En que proporción se disminuirá el impacto ambiental de los RS con un proceso determinado de tratamiento?, ¿Cuál será el impacto social del proyecto?. Estos parámetros son básicos para tener una valorización real de la problemática ambiental y social, que permita proponer estrategias de solución, con cierta probabilidad de que funcionarán. Restrepo (1991), Bernache (1995), Quadri (1994), hacen referencia a esta necesidad, pero no existen en el país estudios referentes que conduzcan a la sistematización de un método para ello, ni mucho menos infraestructura o respaldo técnico en los municipios que les permita realizar estos estudios.

La investigación interdisciplinaria que incluya los aspectos ambiental y social de la generación de los RS debe ser una perspectiva a explorar a más detalle. Ello, porque la preservación del ambiente y la conservación de los recursos, son requisitos fundamentales para la permanencia de las sociedades actuales. El aspecto social, porque la generación de RS acontece en todas las sociedades y los factores sociales, culturales y económicos desempeñan un papel determinante, en la cantidad y tipos de RS que se producen. La comprensión de estos aspectos permite la conformación de líneas de investigación, hasta ahora poco desarrolladas y que puedan aportar soluciones a este problema ambiental.

ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se desarrollará en la zona metropolitana de Morelia en el municipio de Morelia, Michoacán.

MÉTODO Y TÉCNICAS

Para el desarrollo de la investigación se propone la siguiente metodología:

A) Clasificación y cuantificación de generadores de RSM con base en la actividad económica.

1. Se incluirán las categorías de generadores de RS especiales y agropecuarios para ampliar el concepto actual de RSM, a efecto de incluir todas las actividades económicas que se llevan a cabo en el municipio, conceptualizado este último como una entidad geopolítica.
2. Se utilizará el clasificador industrial internacional uniforme (CIIU) y la Clasificación Mexicana de Actividades y Productos (CMAP) para caracterizar y ubicar cada una de las actividades económicas de los sectores primario, secundario y terciario en cada uno de los generadores contemplados en la clasificación de generadores propuesta.
3. Para ubicar cada una de las actividades económicas en cada uno de los generadores contemplados en la clasificación, se tomará como criterio las Normas Oficiales Mexicanas para residuos sólidos, así como el tipo de bienes producidos o comercializados y el tipo de materias primas utilizadas en los procesos.
4. Mediante la conformación de un programa, se cruzarán las actividades económicas registradas con las categorías de generadores contemplados.
5. Siguiendo la clasificación de generadores de RSM del trabajo, se cuantificará el número de generadores de residuos urbanos. Para ello, se utilizarán el Censo Económico y el Censo de Población y Vivienda, de los cuales se conformará una base de datos con el número de establecimientos y de trabajadores en cada actividad económica, así como número de viviendas y de habitantes por municipio.

B) Análisis de generación de RSU en la zona metropolitana de Morelia.

1. Se seleccionará como área de estudio la zona metropolitana del municipio de Morelia, Michoacán, dado que conjunta las características socioeconómicas requeridas: Los tres niveles de ingreso económico, los tres sectores de actividad económica y población urbana y periurbana.

2. El análisis de generación de RSU, se realizará para cada uno de los generadores, de acuerdo a la clasificación propuesta: residenciales y no residenciales (comerciales, institucionales/servicios, industriales y especiales). Dentro de los generadores comerciales, se incluirá el análisis de los mercados y del comercio informal que se establece en éstos y en los tianguis. Se aplicará un muestreo aleatorio para los generadores no residenciales y para los generadores residenciales un muestreo aleatorio estratificado socioeconómicamente (INEGI, 1994), cuyo número de muestras por generador se determinará de acuerdo al procedimiento de Stein (SECOFI, 1985).

3. Simultáneo al muestreo se aplicará una encuesta para determinar el ingreso económico, escolaridad, densidad de habitantes por vivienda, edad y sexo de los generadores residenciales. Para el caso de los generadores no residenciales, se determinará la actividad económica, tamaño del local, monto de ventas, días y horas laboradas, materias primas utilizadas y principales bienes comercializados.

4. La selección y cuantificación de subproductos se efectuará de acuerdo a una variante al formato de clasificación NTRS-5 de SEDUE.

C) Desarrollo de modelos sobre generación de RSU.

1. Los datos del análisis de generación y de la encuesta se ordenarán por estrato socioeconómico para el caso de los generadores residenciales y por fuente de generación para los no residenciales y se conformará una base de datos. Posteriormente se efectuarán análisis de estadística descriptiva y ANOVA.
2. Con base en los resultados del análisis de generación, se determinarán la generación total de RSU, así como coeficientes de generación per cápita para cada uno de los generadores contemplados.
3. Se utilizará la correlación para establecer el grado de relación entre las variables seleccionadas con la generación de residuos y la regresión lineal para determinar la forma probable de la relación entre las variables, a efecto de estimar la generación de residuos sólidos correspondiente a los valores de las variables socioeconómicas analizadas.

D) Validación de los modelos propuestos.

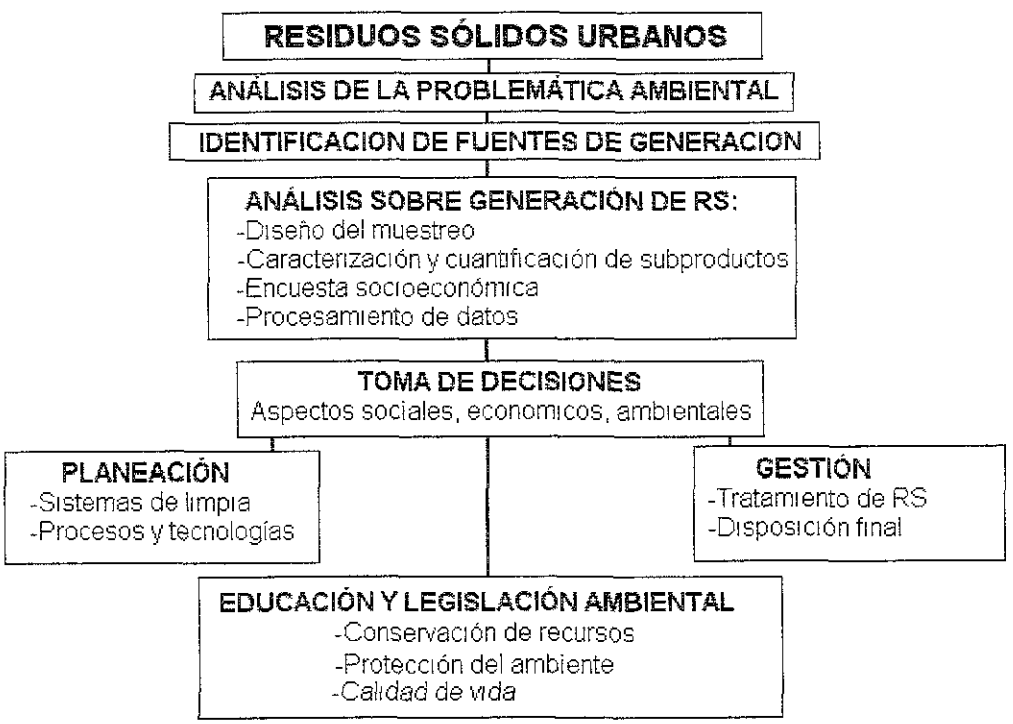
1. Los resultados de los modelos desarrollados se compararán con los resultados del análisis de generación y determinar el porcentaje de similitud entre ellos.

E) Diagnóstico y resultados.

1. Se redactará el documento y los artículos correspondientes que incluyan aspectos del problema ambiental y social de los residuos sólidos como: Generación (¿dónde, cuándo, cómo y bajo qué condiciones se generan?), Procesamiento y tratamiento (¿qué se hace con los residuos, bajo qué condiciones se disponen, qué proporción se reutiliza?).

A continuación se presenta un diagrama simplificado sobre la investigación de residuos sólidos:

DIAGRAMA SOBRE EL PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA PARA RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS



Los resultados de la investigación se presentan en cinco capítulos bajo el esquema de artículos; cada uno de ellos ligado entre sí, y con una secuencia lógica que trata el problema planteado. Los cápitulos 1 y 2 presentan el proyecto de investigación y antecedentes respectivamente. El capítulo 3 revisa la definición de residuos sólidos municipales de acuerdo a su origen y características fisicoquímicas. En éste se propone una adecuación de conceptos, así como una clasificación de generadores que incluye un método para cuantificarlos.

Los capítulos 4 y 6 son estudios de generación de residuos sólidos, en los que se aplica la clasificación propuesta en el capítulo 3, a efectos de verificarla y que sirva como precedente para estudios en otras regiones.

El capítulo 4 es un análisis de la composición de los residuos urbanos; en este estudio se analiza la influencia de variables socioeconómicas, como el ingreso, edad, sexo, densidad de habitantes por casa y escolaridad en la generación de residuos sólidos residenciales. También se analiza la influencia del tamaño del local, el número de empleados, la cantidad de horas y días laborales en la generación de residuos no residenciales.

En el capítulo 5 se analiza el grado y tipo de asociación entre las variables socioeconómicas estudiadas y la generación de residuos sólidos residenciales y no residenciales. Sobre esta base se establecen modelos para explicar y en su caso, predecir la generación de los residuos sólidos en zonas urbanas.

El capítulo 6 trata del estudio de la composición de los RS en los mercados municipales, los cuales son fuentes muy importantes de generación de RS. Se estima que el 9% del total de residuos sólidos urbanos proviene de estos sitios (Bernache, 1995) y que alrededor del 93% son orgánicos (Buenrostro *et al* 1999b). Pero debido a las características de comercialización (temporalidad y tipo de bienes que se expenden) y socioeconómicas (micro y pequeños comerciantes), no se han realizado estudios con antelación, por lo que los informes sobre la cantidad y composición de los RS que se generan en estos sitios son ambiguos. El estudio reporta la generación total y por subproductos para cada uno de los mercados analizados, así como coeficientes de generación por locatario y por giro comercial. Ello como resultado de un muestreo de los residuos y de una encuesta practicada a los locatarios.

El capítulo 7 es una propuesta de tratamiento de la fracción orgánica de los residuos generados en los mercados municipales. El estudio consistió en el análisis de las características físicas y químicas de los residuos sólidos orgánicos, para determinar la viabilidad técnica y económica para implementar un proceso de fermentación anaerobia. Se dan resultados experimentales obtenidos en un digestor vertical semicontinuo y se plantea la ingeniería y diseño de una planta piloto. Finalmente, en el capitulo 8 se presentan conclusiones y recomendaciones generales.

2. EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

ANTECEDENTES

En el contexto internacional existen suficientes procesos tecnológicos para reciclamiento y confinamiento controlado de los RS (cuadro 1). A pesar de lo anterior, la eliminación de éstos en tiraderos a cielo abierto, sigue siendo la práctica más común en la mayoría de los países en vías de desarrollo (UNAM/UMSNH, 1996). El caso de México es similar, pues en general todos los municipios del país optan por esta medida. Ello como consecuencia de la escasez de recursos económicos y de asesoría técnica calificada para una gestión adecuada de los RS.

La disposición de residuos en tiraderos a cielo abierto, consiste en depositarlos en sitios ubicados en la periferia de los centros de población. Cuando el sitio se satura, o el crecimiento poblacional ocasiona que sea sobrepasado por la mancha urbana, se clausura y se busca otro sitio en un lugar más alejado. Los impactos negativos asociados con esta forma de disposición son los riesgos de contaminación de acuíferos por percolación y lixiviación, el impacto sobre la fauna y flora circundante y riesgos en la salud, asociados a la producción de gases, humos y polvos (World Bank, 1989).

Cuadro 1. Procesos para la gestión de los residuos sólidos

ENFOQUE	DESCRIPCIÓN
DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS	PROCESOS FÍSICOS: - Separación, trituración, compactación PROCESOS MECÁNICOS: - Vertedero controlado. - Relleno sanitario. PROCESOS TÉRMICOS: - Incineración - Pirólisis PROCESOS BIOLÓGICOS: - Digestión anaerobia. - Digestión aerobia (composteo). PROCESOS QUÍMICOS: - Hidrólisis ácida y alcalina, entre otros
GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS	Basa su enfoque en tres factores: - Conservación de los recursos naturales. - Reducción del consumo de energía. - Disminución de la generación de residuos sólidos (reducción, reutilización, reciclaje).

Fuente: Cordero (1977); Heinen (1995); IDAE (1989), Buenrostro (1999[a])

A continuación se describen los enfoques utilizados:

1. Disposición de los residuos sólidos

A) Procesos físicos:

La separación, trituración, compactación y transferencia son técnicas que se aplican a los RS como tratamiento previo a la disposición final. Se utilizan para disminuir el volumen y, en algunos casos, el peso de los residuos. El propósito es abatir costos de transporte y de deposición, e incrementar la vida útil del relleno sanitario (OPS/OMS, 1978).

La función primordial de los procesos físicos es la separación y reducción del volumen de los RS. Sin embargo, hay métodos que disminuyen la toxicidad y aceleran el tratamiento de los residuos peligrosos. En éstos se consideran la aireación, separación con amoniaco, adsorción en carbono, centrifugación, diálisis, destilación, electrodiálisis, encapsulamiento, evaporación, filtración, floculación/sedimentación, flotación, ósmosis inversa, sedimentación, separación con aire, gravedad agua/aceite, ultrafiltración, separación con vapor, microondas, separación magnética, coagulación, detonación, fotólisis, resina de absorción, compensación y ajuste de temperatura. Se aplican tanto a residuos líquidos, sólidos y gaseosos (Tchobanouglous *et al* 1997).

La separación como técnica de tratamiento previo pretende retirar del ciclo de los residuos todos aquellos materiales que pueden ser objeto del reciclado (Severini, 1995). La separación de subproductos también se realiza como tratamiento previo a otros procesos de tratamiento de residuos. Por ejemplo, la separación previa de la porción orgánica al composteo o incineración, redunda en una mayor productividad y efectividad del proceso biológico o térmico subsecuente (Robinson, 1986).

En los países en vías de desarrollo, en general, la separación de subproductos se realiza por personas de escasos recursos económicos y en condiciones sanitarias poco adecuadas. Consiste en la extracción de materiales constituyentes de los RS, tales como, metales, vidrio, cartón, papel, plásticos de acuerdo al valor económico de cada uno de ellos, se efectúa en la fuente, durante el traslado de los residuos o en el tiradero (Bernache *et al* 1998). Es en este proceso sobre el cual se puede incidir para minimizar la cantidad de RS a disponer y disminuir el riesgo de exposición de las personas que realizan esta actividad (Buenrostro *et al* 1999a).

La trituración es el proceso por el cual se divide, mezcla y homogeneizan los residuos sólidos, con el objeto de acelerar la descomposición bioquímica. La compactación disminuye los espacios vacíos a efectos de almacenar más residuos por unidad de espacio, tanto en las unidades de recolección como en los rellenos sanitarios (IDAE, 1989).

La transferencia de los residuos sólidos se hace necesaria cuando las distancias de transporte a centros de procesamiento o zonas de evacuación se incrementan a tal grado que el transporte directo por las unidades de recolección ya no es económicamente factible. El proceso comprende dos pasos: 1) la transferencia de los residuos en estaciones de transferencia desde el vehículo de recolección, por lo general de menor tamaño, hasta un equipo de transporte mayor, 2) el transporte subsiguiente de los residuos a un lugar de procesamiento o evacuación (Tchobanouglous *et al* 1997).

En los países en vías de desarrollo, la transferencia de los residuos se utiliza sólo en las grandes ciudades y su instalación recibe un gran rechazo por parte de la

población. Ello porque el funcionamiento de las estaciones de transferencia se asocia con problemas de tránsito, contaminación por ruido y malos olores, así como proliferación de fauna nociva; por lo tanto la ejecución de este tipo de proyectos debe ser precedida de una amplia campaña de información entre los grupos de población circundantes a la obra, sobre las características técnicas y operacionales de las estaciones de transferencia (Bernache *et al* 1998).

B) Procesos mecánicos:

La disposición en relleno sanitario es un proceso que consiste en colocar los residuos en el terreno, extenderlos en capas delgadas, compactarlos o triturarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día. La descarga de residuos debe obedecer a normas muy precisas de protección del ambiente, las cuales incluyen el manejo de los residuos y operación del relleno sanitario. El objetivo final de éste es el control adecuado de los residuos sólidos y el confinamiento del biogás y lixiviados que se producen de los procesos de descomposición de los residuos (Chang, 1996).

La normatividad ambiental para construir y operar rellenos sanitarios es más estricta. Esto ha incidido en la disminución de su número, y por tanto, en un aumento en el costo de disposición por tonelada de RS. En los Estados Unidos en 1993 existían 4,482 rellenos sanitarios, en los cuales se depositó el 71% del total de RS generados. En 1994 este porcentaje descendió a un 67%, con un total de 3,558 rellenos sanitarios (Steuteville, 1995).

C) Procesos térmicos

El procesamiento térmico se puede definir como la conversión de los RS en productos gaseosos, líquidos y sólidos, con la simultánea o subsiguiente emisión de energía en forma de calor. Estos sistemas se clasifican, con base en sus requisitos de oxígeno, en combustión estequiométrica, combustión con exceso de aire, gasificación y pirólisis (Tchobanoglous *et al* 1997).

La combustión estequiométrica y la combustión con exceso de aire se diferencian en las cantidades de oxígeno que son necesarias para la combustión. En la primera se aplica la cantidad exacta de este elemento para que la combustión de los residuos se lleve a cabo en su totalidad. La segunda se lleva a cabo con oxígeno en exceso sobre las necesidades estequiométricas. En la práctica, por la naturaleza heterogénea de los RS, es inviable económicamente incinerarlos con cantidades estequiométricas de aire. Por ello, los procesos de combustión se realizan en hornos a temperaturas superiores a 650°C y con sistemas que utilizan oxígeno adicional para aumentar la mezcla y las turbulencias, asegurando así que el aire pueda llegar a todas las partes de los residuos, con el fin principal de disminuir su volumen y de transformarlos en materiales inertes.

Pese a que este proceso también se aplica para aprovechar la energía calórica en la generación de electricidad, su uso como sistema de tratamiento de RS es muy cuestionado. La legislación ambiental considera los polvos y cenizas procedentes de la incineración dentro de la categoría de residuos peligrosos. Además, se ha registrado la emisión de compuestos altamente tóxicos, como dioxinas y furanos, por lo que se requiere la instalación de filtros para controlar la emanación y dispersión de estos residuos al ambiente, medida que encarece los costos de este proceso.

La gasificación es la combustión parcial de los residuos sólidos bajo condiciones subestequiométricas para reducir el volumen de residuos y recuperar energía, convirtiendo los residuos en combustibles gaseosos que contienen metano, monóxido de carbono e hidrógeno (Tchobanoglous *et al* 1997).

La pirólisis consiste en la destilación destructiva de la fracción orgánica de los RS en ausencia de oxígeno y difiere de la combustión en que es endotérmica en lugar de exotérmica. La diferencia entre los dos sistemas consiste en que en la pirólisis se utiliza una fuente de combustible externa para conducir las reacciones endotérmicas en un ambiente libre de oxígeno, mientras que los sistemas de gasificación se sostienen sin aportes y usan aire para la combustión parcial de los residuos (Tchobanoglous *et al* 1997).

D) Procesos biológicos

Los procesos de tratamiento biológico se aplican exclusivamente sobre la fracción orgánica de los residuos sólidos y son la única técnica disponible en la actualidad para reutilizar la materia orgánica contenida en los RS. Los procesos de tratamiento biológico se clasifican básicamente por la presencia o ausencia de oxígeno.

La digestión anaerobia es un proceso de descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, la cual se lleva a cabo por microorganismos de la familia Metanobacteriaceae. Se disipa poco calor y se producen gases como el metano, hidrógeno, nitrógeno, bióxido y monóxido de carbono, oxígeno y trazas de ácido sulfhídrico, de los cuales el metano se presenta en una proporción de 55% a un 70%.

La digestión aerobia se lleva a cabo en presencia de oxígeno por microorganismos aeróbicos y facultativos, que oxidan la materia orgánica produciendo agua, bióxido de carbono, calor y compuestos nitrogenados (Stanier *et al* 1986).

E) Procesos químicos

Estos procesos incluyen la hidrólisis ácida y alcalina, así como la conversión química, por los cuales se recupera glucosa, furfural, metanol, entre otros. Estos procesos son poco usados para la conversión de la fracción orgánica de los RSU, ya que son más usados para reutilizar residuos agrícolas (Tchobanoglous et al 1997).

2. Gestión Integral de residuos sólidos

A la disposición de residuos se le dan soluciones que pueden crear a su vez nuevos problemas, ya que cada método de disposición reduce la carga contaminante de los residuos sobre un sistema, pero lo traslada hacia otros. Por ello, la conservación de los recursos es un factor importante que se ha incorporado al concepto tradicional de gestión de RS, el cual se ha expandido al de gestión integral. Este concepto puede ser definido como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas idóneos para lograr metas y objetivos específicos de gestión de residuos (Tchobanoglous *et al* 1997). La gestión integral considera el impacto de los RS en el ambiente y toma en

cuenta los tres estados físicos de los residuos (líquido, sólido y gaseoso) para disponerlos, de manera que se reduzca el impacto ambiental y la salud pública.

Los principales factores que se toman en cuenta para la gestión de RS son: ¿En qué fase es menos nocivo un elemento o sustancia?, ¿En qué estado físico resulta más económico tratarlo?. La decisión adoptada debe considerar factores socioeconómicos, políticos, jurídicos e institucionales, así como la cantidad, composición de los residuos y disponibilidad de recursos económicos (Heinen, 1995).

Las acciones que se consideran para la implementación de programas de gestión integral de residuos sólidos son: 1) reducción en origen, 2) reciclado, 3) reempleo o reuso, 4) transformación de residuos y 5) vertido.

La reducción, implica reducir la cantidad y/o toxicidad de los residuos que son generados. La reducción en origen se considera en primer lugar en la jerarquía de un programa de gestión integral de residuos, ya que es la forma más eficaz de reducir la cantidad de residuos, los costos asociados a su manejo y los impactos ambientales (Tchobanoglous, *et al* 1997).

El reciclado y reuso son procesos mediante los cuales ciertos materiales que antes se habían considerado como residuos, pueden reincorporarse al ciclo de producción-consumo. Específicamente, el reciclado es el procedimiento industrial de transformación de los materiales recuperados, que serán utilizados como materias primas para fabricar nuevos productos dedicados al consumo. El reuso es la prolongación de la vida útil de un producto por medio de su reutilización para fines idénticos o parecidos (Severini, 1995).

En el último decenio en los Estados Unidos se recuperaron y reciclaron el 23% de RS; sin embargo, recientemente se ha detenido los niveles alcanzados en la última década, ya que el crecimiento anual en 1994 fue menor en un 50% al registrado en los 4 años anteriores (Steuteville, 1995).

La transformación de los RS se refiere a los procesos físicos, químicos y biológicos mencionados con antelación y que se aplican para: 1) mejorar la eficiencia de las operaciones y sistemas de gestión de residuos, 2) recuperar materiales reutilizables y reciclables y 3) recuperar productos de conversión, como composta, y energía en forma de calor y biogás (Tchobanoglous *et al* 1997).

El vertido en relleno sanitario ocupa la última posición en la jerarquía de la gestión integral, ya que es la forma menos deseada por la sociedad para el tratamiento de los RS. Sin embargo, este sistema es más seguro en cuanto a manejo e impactos al ambiente para disponer los residuos que no son reciclados y aquellos que son rechazados de las plantas de separación de subproductos y de conversión o energía (Tchobanoglous *et al* 1997).

A) La planeación en la gestión de residuos sólidos

La predicción de la cantidad y composición de los RS es fundamental para la planeación y diseño de los sistemas de limpia, así como en la conservación del suelo, fauna, flora, cuerpos de agua, sistemas de agua subterránea, uso sustentable de los recursos, y en mejoramiento de la calidad de vida de la población. Por ello, es importante que la gestión de los RS se realice bajo criterios interdisciplinarios que incluyan no sólo factores ambientales, sino también económicos y sociales.

En el ámbito internacional, existen modelos predictivos basados en variables como la densidad de población, el ingreso *per capita*, el porcentaje de población urbana, el clima, la edad, el sexo, el grupo étnico, el tamaño de la vivienda, las características geográficas, el uso del suelo, el tipo de aparato productivo, y las vías de comunicación disponibles. Estas variables han sido analizadas por diversos métodos estadísticos como son la correlación y la regresión lineal, el análisis de componentes principales, el uso de estadística no paramétrica y el análisis retrospectivo por series de tiempo. Sin embargo, debido a la complejidad teórica de los modelos y a los requerimientos de datos socioeconómicos y de producción de residuos, ha ocasionado que no se apliquen en los países en vías de desarrollo.

Referencias citadas

Allen, V. K. and Blair, T. B. 1979. *Environmental Quality and Residuals Management.* Resources for the Future, Inc. The Johns Hopkins University Press. USA. 337 p.

Bernache, G. 1995. *Ecología y Sociedad en Guadalajara.* CIESAS-Occidente. México. 16 p.

Bernache, G. *El Impacto Ambiental de los Desechos Domésticos: Una comparación de hogares mexicanos y norteamericanos.* Ponencia presentada en el Simposio Estatal de CONACYT. Diciembre 6-8 de 1995. Guadalajara, Jal. México.

Bernache, G., Bazdresch, M., Cuéllar, J.L. & Moreno F. (1998). *Basura y metrópoli.* Ciesas-Occidente, Iteso, Col-Jal y U. De G. México. 238 p.

Buenrostro, D.O, Bernache, P.G, Cram, S. & Bocco, G.(1999[a]). Análisis de la generación de los residuos sólidos en los mercados de Morelia (Solid waste generation analysis in markets of Morelia). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* **15** (1). 27-32.

Buenrostro, D. O., Cram, S., Bernache, G. & Bocco, G. (1999[b]). La digestión anaeróbica como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales (anaerobic digestion as alternative treatment of the organic solid waste fraction generated in markets). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* (en prensa).

Cordero, G. L. (1977). *Tres Casos de Impacto Ambiental.* CIFCA. España. 116 p.

Comisión Nacional de Ecología. (1992). *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente* 1989-1990.

Costanza, R. (edit.). (1991). *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability.* Columbia University Press. USA. 525 p.

Chang, Ni-Bin; Wang, S.F. (1996). Comparative Risk Analysis for Metropolitan Solid Waste Management Systems. *Environmental Management.* 20(1). 65-80.

Daly, E. H & Cobb, B. J. (1993). *Para el Bien Común, Reorientando la Economía Hacia la Comunidad, el ambiente y un Futuro Sostenible.* Fondo de Cultura Económica. México. 466 p.

Doelman, P. (1995). *Microbiology of soil and sediments.* En Salomons and Stiglian ed. Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments. Springer, USA, 217 p.

Fernández, R. (1994). *Problemáticas Ambientales y Procesos Sociales de Producción del Hábitat: Territorio, Sistemas de Asentamiento, Ciudades.* En Leff, E. (comp.). Ciencias Sociales y Formación Ambiental. Ed. UNAM-GEDISA-PNUMA. España. pp: 223-282.

Heinen, J.T. (1995). A Review of, And Research Suggestions For, Solid-Waste Management Issues: The Predicted Role of Incentives in Promoting Conservation Behavior. *Environmental Conservation.* 22(2). 157-166.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (1989). Incineración de Residuos Sólidos Urbanos. Ed. Edición Especial Cinco Días. Madrid, España. 104 p.

Israde, A.E: Rodriguez, C.R.; Carrillo, C.A., Silva, G.T. y García, E.A. (1999). *Memorias del Congreso Nacional de Ciencias Ambientales.* 26-28 de Mayo, Toluca, México. 92 p.

Jean, R. (1992). *Ecología y Tecnología Crítica.* Fontamara. 1ª. ed. México. 264 p.

Low, B. S.; Heinen, J. T. (1993). Population, Resources, and Environment: Implications of Human Behavioral Ecology for Conservation. *Population and Environment.* 15(1). 7-41.

Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS). (1978). Simposio Regional Sobre Desechos Sólidos. Serie Técnica de la División de Salud Ambiental. República Dominicana. 240 p.

Quadri G. (1994). *Reflexiones para una política de residuos peligrosos en México.* En Oswald, U. (coord.) Retos de la ecología en México. Gobierno de Morelos-Fundación Friedrich Naumann-Porrúa. 381 p.

Rathje, W. and Murphy, C. (1992). *Rubbish: The Archaeology of Garbage.* Harper Collins. USA. 263 p.

Restrepo, I., Bernache, G. & Rathje, W. (1991). *Los Demonios del Consumo. Basura y Contaminación.* Centro de Ecodesarrollo, México, 270 p.

Robinson, W.D. (1986). *The Solid Waste Handbook. A Practical Guide.* John Wiley & Sons. USA. 811 p.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) (1988). *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.* México. 138 p.

Secretaría de Desarrollo Social/Instituto Nacional de Ecología (SEDESOL/INE). (1994). *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.*

Severini, P. (1995) *La gestión de la basura en las Grandes Ciudades.* CISAN-UNAM. México. 61 p.

Stainer, R.Y., Ingraham, J.L., Wheelis, M.L. & Painter, P.R. (1986). *The microbial world.* 5ª ed. Prentice Hall. USA. 507 p.

Steuteville, R. (1995). The State of Garbage in America. *BioCycle.* 36 (4): 54-63.

Storgaard S. & Rasmussen K. (1991). *Soil Pollution.* En Hausen P & Jorgensen S. (eds). Introduction to Environmental Management. Elsevier, Amsterdam. 403 p.

Tchobanoglous G., Theisen, H. Y Vigil, S. (1997). *Gestión Integral de Residuos Sólidos.* McGraw-Hill, México. 1107 p.

UNAM/UMSNH. (1996). *Control y Manejo de Residuos Sólidos Municipales y Especiales* (Informes y Comunicaciones del Curso). Morelia, Michoacán. México. 343 p.

World Bank Technical Paper,num. 93 (1989). *The Safe Disposal of Hazardous Waste.* Balstone, R.J.E. Smith Jr. Y D. Wilson (eds.), Estudio conjunto del Banco Mundial, Organización Mundial de la Salud y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas.

World Resources Institute (WRI). (1991). *Recursos Mundiales 1990-1991.* Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México, 463 p.

3. CLASSIFICATION AND ASSESSMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTES AND SOURCES IN DEVELOPING COUNTRIES

Resources, Conservation and Recycling (enviado)

CLASSIFICATION AND ASSESSMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTES AND SOURCES IN DEVELOPING COUNTRIES

Otoniel BUENROSTRO[1,*], Gerardo BOCCO[1], Silke CRAM[2] and José GARZA[1].

[1] Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Apartado Postal 27-3 (Xangari), 58089, Morelia, Michoacán, México.
[2] Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria. C.P. 04510.

* Corresponding author. Tel. (4) 3243290; fax: (4) 3243290; e-mail: otonielb@zeus.ccu.umich.mx

ABSTRACT

The existence of different classifications of municipal solid waste (MSW) creates confusion and makes it difficult to interpret and compare the results of generation analyses. In this paper, MSW are conceptualized as the solid waste generated within the territorial limits of a municipality, independently of its sources of generation.

Grounded on this assumption, a classification of the sources of MSW is suggested based on the economic activity, which generates them; thus a connection between the source and the type of waste is established. The classification categorizes the sources in three divisions and seven classes of sources: residential, commercial, institutional, construction/demolition, agricultural-animal husbandry, industrial, and special. When applied at different geographical scales, this classification enables the assessment of the volume of MSW generated, and provides an overview of the types of residues expected to be generated in a municipality, region or state.

Key words: Classification, Sources, Municipal solid waste, Mexico

Municipal solid wastes and their classification

In developing countries, there are no studies of waste generation that consider the issue of sources of municipal solid waste (MSW): households, commerce, industry, public areas, institutions and services [1]. In most developing countries, such studies are not available because of the scarcity of technical knowledge and funding. The economic cost of studying the composition of solid waste (SW) in a city may consume most of the human and financial resources assigned by the local government to the management of SW during one year. Because of this, it is difficult to carry out such studies with the required frequency.

Several approaches are described in the literature; some are more conceptual and other attempt to classify MSW. For Adedibu [1], the residential and domestic solid waste is generated in residential environments, while MSW is generated in public areas, such as streets and parks. Heinen [7] concludes that MSW is mostly composed of domestic residues and not by hazardous, and commercial waste. In the USA, paper, plastics, garden clippings, glass and other materials are recognized as MSW [18]; it is considered that this type of waste is mainly generated by residential, institutional and commercial sources [8]. The Mexican environmental regulation defines MSW as being generated by municipal activities; thus, it does not require of special techniques for control —except for the hazardous and potentially hazardous waste generated in hospitals, clinics, laboratories and research centers, together with the industrial waste that is not derived from the industrial process itself [14].

From a different perspective, Cailas et al [6], classify MSW as the residues coming from households, the operation of commerce and institutions, and, in general, all those generated by the activities of the community. Brunner *et al* [5], define MSW as the materials collected by the municipality, or by authorized organizations.

The ambiguous use of the terminology and classification approaches complicates the analysis of MSW generation

Confusion begins by the neglect in the use of the verbs to conceptualize, to define, and, to classify, as synonyms of, to order. Actually, the action implied in each of these latter verbs have different meanings: to conceptualize is to form a concept about something —from the Latin *conceptus*, meaning a thought which is expressed in words; to define —from Latin *definire*— is to delimit the meaning of a word, or the nature of a thing; to classify, is to sort things by placing them in classes. Thus, the existing classifications and definitions of MSW are not such, but conceptualizations, given that these vary with the author's criteria.

The inadequate use of these verbs, which could, in first instance, be considered as a problem of semantics, leads to a far greater problem in regard of the planning and design of the analyses of MSW generation. In a single study of solid waste (SW), the indistinct use of terminology such as municipal solid waste (MSW), urban solid waste (USW), domiciliary solid waste (DSW), and residential or domestic solid waste (RSW), arises confusion and may contribute to inconsistent interpretation of results, because the type of source being analyzed is not clear. Additionally, it remains unclear if a given

SW is to be considered as MSW because of the type of source, or because the municipality is responsible for its collection. Rushbrook *et al* [17] have analyzed this problem in connection with the difficulty to establish confident parameters to study the composition of SW in urban areas in some African countries.

Regarding MSW, the distinction between the concepts mentioned above is based on the sources of generation of SW; however, when "municipal activities", or "collected by the municipality" are considered as characteristic features of MSW, the SW generated in the outskirts of the urban centers are not considered as MSW. In general, cities in developing countries have experienced an accelerated process of urbanization, enguifing the surrounding rural communities within the expanding urban area. In these settlements, an urban-rural fringe is generated; microindustries—characteristic of urban centers—are established together with handicraft shops, small-scale animal husbandry production, and remains of agricultural activities.

Frequently, the SW generated in this periurban fringe is merged into the USW stream. Thus, it is impossible for municipal authorities to control these sources and to monitor the amount and characteristics of such SW. The legal regulations in a large majority of developing countries establish that the federal administration is responsible for the management of hazardous or potentially hazardous waste, while the municipal governments are responsible for the remaining SW generated within their jurisdictions [3].

As an example, agricultural activities generate SW, but if these are used as input for the agricultural sector (e.g., forage), these are no longer considered as SW. However, agricultural activities make use of agrochemical, thus generating empty containers which, because of the material they contained, are classified as hazardous waste; but, due to the source of its generation, it is also regarded as agricultural SW. This ambiguity affects the management and final refuse of this type of SW that takes place outside the jurisdiction of the municipal government. Additionally, the amount and characteristics of this SW, and whether these flow with the USW, remain unknown. What prevails is the clandestine refuse of this type of SW within the territory of any municipality.

Considering the ambiguity in the use of concepts and in the systems of classification of SW, it seems important to contribute to strengthening these aspects. This paper has the following objectives: (1) to propose a standardization of concepts for sources and types of SW; (2) to propose a classification system of MSW based on the type of economic activity; and, (3) to apply this classification to assess different sources of waste at the municipal and state geographical scales.

This approach was tested in the city of Morelia, Mexico. Nevertheless, the results may be of relevance for other fast growing cities with poor or absent environmental planning.

Classifying MSW according to sources

A classification of sources of SW is proposed on the basis of the following assumptions:

1. The SW generated within the territorial jurisdiction of a municipality, irrespective of its nature and source that generate; it is classified as MSW (Fig. 1).
2. All economic activities generate a given pattern of SW.
3. Since all economic and consuming activities generate SW, each of these activities constitutes a source.

The classification of the sources of MSW considers three divisions: urban, industrial and rural; each one is represented as a discrete entity. From these divisions, classes of sources are derived in a hierarchical manner (Fig. 2).

The urban division encompasses the sources of MSW within human settlements, independently of the size of their population. The urban division gives place to two subdivisions, which originate classes of sources: residential (dwellings), and non-residential (commercial, institutional/services, construction/demolition, and special). This latter class groups the sources which, because of the materials used in their economic activities, or because of the services they offer, or due to the trade commodities, generate SW which may be hazardous for the population health or to the environment. The industrial division includes all those sources in industrial facilities, independently of their size, and is formed by a single industrial class. The rural division encompasses all sources of SW, which derive from agricultural and animal husbandry activities. This division includes a single class: the agricultural-animal husbandry source (Table 1).

Each one of these classes of sources produce different types of SW, which are defined on the basis of the sources which generate them, as follows:

1) Residential wastes: The wastes generated in dwellings, either houses or apartments.
2) Commercial waste: The waste generated in commercial facilities, department stores, supermarkets, restaurants, marketplaces and ambulant markets (which in Mexico are called *tianguis*).
3) Institutional and service waste: The waste generated in governmental and private offices, education centers, museums, libraries, archaeological zones and recreation centers, such as movie theaters and stadiums.
4) Construction and demolition waste: The waste generated in construction and demolition sites.
5) Special waste: The waste which needs of special techniques for control, either because of being relatively hazardous, because of its condition or state, or because control is enforced by the standing environmental regulations. This waste is generated in sectors such as scientific research, health, industrial and automobile maintenance shops, human and veterinarian drugstores, airports and terrestrial transportation terminals.
6) Industrial waste: The waste generated in any process of extraction, benefit, transformation and production of goods.
7) Agricultural and animal husbandry waste: The waste generated in agricultural and animal husbandry activities.

Using the international standard industrial classification (ISIC) in the classification of MSW sources.

The United Nations Organization produced indexes for the international standard industrial classification (ISIC) of all economic activities. The ISIC provides with keys and descriptions for all the economic activities; these are coded in categories using one, two, four and six digits [19]. This classification is based on the rationale of classifying economic activities beginning from the general and, from here, narrowing down to higher levels of specificity. In general, this classification is the basis for the classification of all economic activities taking place within any country. For the case study considered in this paper, the economic activities were classified according with the existing Mexican official classification [10], in turn based on the ISIC.

Sources coding

The sources of SW were assigned codes based on the Mexican Classification of Activities and Products (CMAP, by its Spanish acronym), which classifies the economic activities according to the criteria of the ISIC. As well as the ISIC, the CMAP considers four different grouping levels, as follows: sector, subsector, branch, and class. Both the ISIC and he CMAP classify economic activities and not the type of SW generated by such activities. Because of this, the economic activities included in this study were regrouped. This rearrangement of economic activities was made through the analysis of the description of each economic activity, of the input materials used in these activities, and of the commodities produced or traded by them, in order to place each economic activity in one of the proposed categories of sources of SW.

In order to determine the type of SW generated, the description of the activity provided by CMAP was compared with the listings included in the Mexican environmental legislation [15, 16], which describe the characteristics of SW according to the generating activity. Regarding this matter, Bowen *et al* (1995) [3] suggest that the amounts and types of hazardous waste generated is determined by, among other factors, the productive process and the level of productive activity.

An alphanumeric code was assigned to every source considered. The classes were identified with a capital letter, and consecutive serial numbers were used to sort the economic activity of these sources. Some sources agree completely to an entire sector; however, in many cases, in order to reconcile economic activity and the waste generated, it was necessary to create divisions among different types of sources for the subsector, branches and classes of economic activity (Table 2).

Database creation.

The database was based on information from two types of census: the economic census [11], containing data about industry, commerce, and services, and the population and housing census [9], containing demographic and socioeconomic parameters.

In order to assess the sources of SW included in the class's commercial, institutional/services, special and industrial, data about the number of economic units and number of employees involved in each one were compiled. For the assessment of sources in the residential and building classes, the data captured were, respectively: the number of households and of their dwellers; and the number of persons involved in construction activities. Table 3 shows the variables analyzed and the sources of data used in this study.

The data were gathered and managed in a relational database management system (RDBMS), using a program created *ad-hoc*. This program extracted the data from the census and regrouped them in correspondence with the classification criteria described above. The resulting information was stored in the form of an Excel spreadsheet, version 1997 [12], thus conforming a database in which the sources of MSW were classified.

Applying the classification.

The method proposed above was tested at the state (Michoacan) and municipality (Morelia) levels. We assume that results can be extrapolated to similar areas in other developing countries. Table 4 contains, at the two geographic scales, the quantitative description of the sources of MSW, with the exception of the sources of agricultural and animal husbandry waste (F), which were excluded because the census did not contain variables that could be useful to their assessment. Those data provide an outlook of the distribution of the generation of MSW in the area analyzed. The regrouping of the economic activities in correspondence with the proposed classification provides the means to know the number of sources per class, or at a finer level of detail, per economic activity. The population involved in each class of source enables the appraisal of the magnitude of the generation sources.

In Michoacan, a total of 92,065 non-residential and of 781,632 residential sources was located. Of the former, 14,881 are sources of industrial waste (A), which give employment to a total of 68,848 persons in their facilities. Taken together, the sources of mineral waste (A11 and A12) exceed the number of sources of the food industry waste (A02); however, the latter industry has more workers employed (23,965), this could be an indicator of a greater contribution of SW by this source.

The contribution of the wood waste source (A05), and that of textile industry waste (A03), is significant, both in terms of the number of sources as well as the number of employees. Basic petrochemical, chemical and plastic waste sources (A07) amount to only 79, but regarding the number of employees (3,500), and given that the number of workers employed per facility fluctuates at about 44 persons, this type of factories rank between the medium and the large industries.

The commercial waste sources (B) amounts to 54,007. The special waste category (C) includes 20,379 sources. The institutional and services waste (D) class groups 2,798 sources. A percentage analysis of the sources of generation of SW (Table 5) indicates the relatively low degree of industrialization of the state of Michoacan, compared to other regions. This analysis also shows the predominance of the commercial sector in the generation of SW.

If the analysis is narrowed-down to finer levels of detail, further characteristics are observed. About 10,700 sources of industrial residues in Michoacan generate SW; these are listed as hazardous or potentially hazardous by the Mexican environmental legislation [15, 16]. Additionally, there are 23,379 sources of special SW, many of which are in need of a physical and chemical evaluation to determine their impact on the environment and on public health. Because of this, the state of Michoacan faces a severe environmental problem due to the generation of hazardous SW, given that there is no existing program for their adequate management. The final outcome is that the hazardous SW merge into the USW stream.

According to Bowen *et al* [3], the potential impact of hazardous SW generated by industrial activities depends on both the characteristics of the materials utilized, and on the level of exposure to them. In order to evaluate the risk involved in the exposure to hazardous SW, the toxicological and physical properties, as well as the amount of this waste, must be considered in addition to the concentration, duration, intensity, way of exposure, and the characteristics of the population exposed.

This evaluation of the impact of hazardous waste is complex due to the ambiguity with which the term, hazardous waste, is used. However, an a-priori evaluation may be obtained by means of the characterization of SW using the available listings regarding the nature of the materials and the productive process involved in their generation. These criteria were used in this study to categorize the characteristics of the SW, with respect to its source of generation.

The sources of SW in Morelia are distributed in a pattern, which is similar to that observed in the state of Michoacan (Table 5). Morelia groups 16.4% (2,437) of the total industrial sources (A) recorded for the state; 10,346 commercial sources (B); 5,121 special sources (C); and, half the institutional/services sources (D) observed in the state. Besides, the municipality of Morelia concentrates 14% of the total population of Michoacan, which causes a severe problem of USW management.

Table 6 shows the results of applying the proposed classification of sources in the assessment of USW. The analysis of the composition of this waste in Morelia allowed the estimation of daily rates of per-capita generation of SW, for each source of generation involved. The rates of generation derived from this study were used to assess the generation of USW in Michoacan. This estimation was based on the similarity of the distribution patterns of sources observed in both regions. Despite, these data must be calibrated by the implementation of in situ SW composition studies; they are useful for those regions in which data on generation of SW are scarce. The classification of sources of SW may be extrapolated and serve as a basis for studies of SW generation in other regions.

DISCUSSION

In this classification of sources of MSW, the industrial activity was considered as a source of hazardous or potentially hazardous waste, with the exception of the food industry (A02). The above is based on the list of activities defined by the Mexican official norm, and in which the industrial processes and activities which generate this class of waste are categorized [15, 16]. According to these same listings, the sources that are considered as generating "special" SW are those activities categorized as hazardous and biological-infectious. These activities, among others, include clinics, hospitals, veterinarians, drugstores, clinical laboratories and for the production of biological products, education and research centers.

This approach was applied to study of composition of MSW [4]. In this case, we incorporated the markets and the informal commercial activity; this latter source is relevant because of it influences heavily economic activities in developing countries. The informal commerce does not have permanent facilities, and, in general, they are excluded from the revenue collection enrollment. Because of this, the informal commerce is not assessed in the census, and it is difficult to obtain data for its appraisal. In the study made in Morelia, the informal commerce sector was analyzed in the areas where it concentrates, such as in markets and *tianguis*. Tables 5 and 6 show the number of sources and the generation rates for this sector, which were extrapolated to the state of Michoacan.

The classification of MSW takes into account the assessment of all industrial sources of SW, independent by of their size and localization (within or outside the urban or periurban zones). The assessment of the industrial SW sources in Morelia considered only those localized within the urban area. The sampling was based on the reported number of employees; the analyzed industries were in fact microindustries. The generation rates, which were reported, correspond thus to micro-enterprises. Because of this, and in order to calibrate the generation rates of this sector, it is necessary to include longer industries in the analysis of SW generation.

Despite the proposed classification is based on economic activity, it includes the residential source class. Even though these sources do not produce commodities or services, they do consume and satisfy the three assumptions made by the classification. The generation of SW is dynamic and heterogeneous; thus, it is determined by socioeconomic variables with differential impact incidence according to the locality analyzed [2, 13]. Because of this, the analyses of generation of SW must be constantly updated. The proposed classification enables the use of the socioeconomic data provided by in census for the indirect assessment of the sources, which generate SW. It is also possible to predict the type of SW generated based on the economic activity involved. This provides with a-priori information that is useful to reach a diagnosis regarding the generation of SW in a locality; in addition it supports a finer analysis of specific sources of these wastes.

For institutions involved in studies of the environmental impact of the generation of SW, the resulting classification is a valuable tool, both for preliminary analyses, and for future planning. Additionally, given that this classification is based on the criteria established by the ISIC, it may be calibrated reviewed or updated to be applied in other regions.

CONCLUSIONS

A standardized classification of SW is essential for comparisons of studies made in different regions. This is important for developing countries, given these may use the available information as a background for in situ studies, which will, eventually, allow for the implementation of more efficient SW management programs.

The results of this research propose a conceptualization of SW on the basis of sources of generation, and a classification of such sources on the basis of economic activity. The classification is compatible with the economic activities recorded by the ISIC. Thus, databases may be generated based on the socioeconomic data provided by census of any country; in this way the indirect assessment of the sources of generation of SW is feasible.

Such a classification makes it possible to predict the potential hazard represented by SW in relation with the economic activity, which generates them. Also, this classification provides the foundations for the implementation of studies of SW composition, given that the delimitation of the concepts regarding the sources and types of waste standardizes these concepts. Finally, the classification is useful for the assessment of total generation of SW by specific sources, and at different geographic scales.

REFERENCES

1. Adedibu, A.A., 1985. A comparative analysis of solid waste composition and generation in two cities of a developing nation. The Environmentalist, 5 (2): 123-127.
2. Ali Khan, M.Z and Burney F.A., 1989. Forecasting solid waste composition-An important consideration in resource recovery and recycling. Resour. Conserv. 3: 1-17.
3. Bowen, M.; Kontuly, T. and Hepner, G., 1995. Estimating maquiladora hazardous waste generation on the U.S./ Mexico border. Environm. Aud., 19 (2): 281-296.
4. Buenrostro, D.O, Bocco, G. & Bernache, P.G. (1999). Urban solid waste generation in developing countries. Manuscript submitted to Waste Manage. Res.
5. Bruner, H.P. and Ernst, R.W., 1986. Alternative methods for the analysis of municipal solid waste. Waste Manage. Res., 4: 147-160.
6. Cailas, D.M.; Kerzee, G.R. and Bing-Canar, J., 1996. An indicator of solid waste generation potential for Illinois using principal components analysis and geographic information systems. J. Air & Waste Manage. Assoc., 46: 414-421.
7. Heinen, J.T., 1995. A Review of, and research suggestions for, Solid-waste management issues: The predicted role of incentives in promoting conservation behavior. Environm. Conserv., 22(2): 157-166.
8. Hockett, D.; Lober, D.J. and Pilgrim, K., 1995. Determinants of per capita municipal solid waste generation in the southeastern United States. J. Environm. Manag. 45: 205-217.
9. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1991. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. Resultados Definitivos, Tabulados Básicos (XI Census of population and housing), México, p. 2384.

10. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1995 Clasificación Mexicana de Actividades y Productos (CMAP) (Mexican Classification of Activities and Products), Censos Económicos 1994,. México, p. 280.
11. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1996. SAIC. Sistema Automatizado de Información Censal 3.1. Censos Económicos 1994 (SAIC. Automated system of census information 3.1. Economical census 1994). México.
12. Microsoft Corporation., 1998. Microsoft Excel 97.U.S.A.
13. Rathje, W. Y Murphy, C. (1992). Rubbish! The archeology of garbage. Harper Collins, New York, NY, USA, 263p.
14. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). 1985. Norma oficial mexicana NOM-AA-91-1985. Residuos sólidos-terminología (Mexican official standard NOM-AA-91-1985. Solid waste-terminology), México, p. 5.
15. Secretaría de Desarrollo Social/Instituto Nacional de Ecología (SEDESOL-INE). 1993. Norma oficial mexicana NOM-CRP-001-ECOL/93. (Mexican official standard NOM-CRP-001-ECOL/93), Diario Oficial de la Federación, México, p. 30.
16. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) Norma oficial mexicana NOM-087-ECOL-1995 (Mexican official standard NOM-087-ECOL-1995), Diario Oficial de la Federación, México, p. 10.
17. Rushbrook, P.E. and Finnecy, E.E., 1988. Planning for future waste management operations in developing countries. Waste Manage. Res., 6(1): 1-21.
18. U.S. Environmental Protection Agency (US. EPA). 1992. Characterization of municipal solid waste in the U.S.: 1990 Update, Whashington, D.C.
19. United Nations. 1971. Indexes to the international standard industrial classification of all economic activities, United Nations statistical papers, Series M, No. 4, Rev. 2, Add. 1. United Nations Publication, New York.

Acknowledgments

Research on which the paper is based was granted by Conacyt through a doctoral scholarship to the first author.

TABLE 1
Proposed classification of MSW sources

Source division	Source subdivision	Code	Source class (source / origin)	Type of waste	Characteristics of waste
Industrial		A	Industry	Industrial	Non-hazardous Potentially hazardous Hazardous
Urban	Non-residential	B	Commerce	Commercial	Non-hazardous
		C	Special	Contaminant	Potentially hazardous
				From hospitals	biological-infectious
		D	Institutions and services	Institutional	Non-hazardous
		E	Construction /demolition	Construction	Non-hazardous
Rural		F	Agricultural and animal husbandry	Agricultural and animal husbandry	Non-hazardous Potentially hazardous
Urban	Residential	G	Household	Domestic	Non-hazardous Potentially hazardous

TABLE 2
Economic activity and identification codes for the sources of MSW

SOURCE CODE	ACTIVITY/SOURCE	CMAP CODE
A	Industry	
A01	Minerals and oil extraction	21 22 23 29
A02	Food industry	31
A03	Textile industry	3211 3212 3213 3214 3220
A04	Leather and shoe industry	3230 3240
A05	Lumber and wood derivatives industry	33
A06	Paper and paper derivatives industry	34
A07	Basic petrochemistry, chemical and plastic industries	3512 3513 3530 3560 3511
A08	Pharmaceutical industry	3521
A09	Other chemical substances and products	3522
A10	Coal and rubber industries	3540 3550
A11	Non-metallic mineral products	36
A12	Metallic mineral products	37 38 39
A13	Power supply	41
A14	Supply and purification of drinking water	42
B	Commerce	
B01	Other than foodstuff	6110; (all the branch 6120, except for classes 612010; 612011; 612012; 612013; 612015; (all the branch 6230, except for classes 623011; 623012; 623042; 623063; 623071); 6240
B02	Foodstuff	6210; 6220; 6140
B03	Restaurants	9310
B04	Hotels	9320
B05	Recreation and cultural centers	941202; 941203; 942101; 9422; 9491; 9492
C	Special	
C01	Retail of fertilizers, pesticides, lubricants, photographic chemical supplies, etc.	612010; 612011; 612012; 612013; 612015; 623011; 623012; 623042; 623063; 623071; 625001; 625004; 625005; 6260; 951016; 951017; 951020; 951021; 951022; 951023; 952001; 952002; 96; 9710; 9720; 9733
C02	Clinical analysis laboratories, research laboratories, clinics, hospitals, etc.	9221; 9222; 9231; 9232
D	Institutions and services	7; 8; 91; 9211; 9212; 9241; 9242; 9250; 9290; 9411; 941201; 941204; 942102; 951001; 951002; 951003; 951004; 951005; 951006; 951007; 951008; 951009; 951010; 951011; 951012; 951013; 951014; 951015; 951018; 951019; 952003; 952004; 952005; 952006; 952007; 952008; 9530; 9540; 9731; 9732; 9740; 9750; 9790; 98
G	Residential	No. of households and No. of inhabitants per municipality.

Table 3
Sources of census information and variables analyzed

Source code	Source class	Source of information	Variables analyzed
A	Industrial	XIV Industrial Census	Main characteristics of manufacturing facilities per municipality, subsector and activity branch. Number of economic units. Number of employees.
B	Commercial	XI Commercial Census XI Services Census	Main characteristics of commercial facilities per municipality, subsector and activity branch. Number of economic units. Number of employees.
C	Special	XI Services Census XIV Industrial Census XI Commercial Census	Same variables as for industrial, commercial and institutional sources.
D	Institutional and services	XI Services Census	Main characteristics of manufacturing facilities per municipality, subsector and activity branch. Number of economic units. Number of employees.
E	Construction	XI Population and Household Census	Population per municipality, sex and activity sector according to employment situation (persons employed).
G	Residential	XI Population and Household Census	Number of households per municipality. Number of inhabitants per municipality.

TABLE 4
Total sources of MSW for the state of Michoacan and for the municipality of Morelia

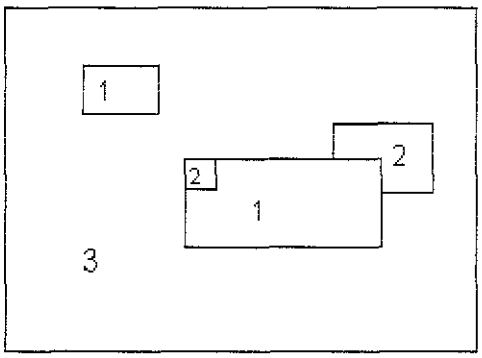
	Michoacan		Morelia	
Source code	Number of sources	Population involved in the generation	Number of sources.	Population involved in the generation
A01	14	1,371	2	86
A02	4,180	23,965	796	4,406
A03	1,543	4,688	155	938
A04	392	1,806	19	100
A05	3,607	12,645	286	1,097
A06	370	3,182	154	1,676
A07	79	3,500	33	1,359
A08	1	45	1	45
A09	36	425	14	338
A10	17	482	6	86
A11	2,228	6,189	471	1,327
A12	2,414	10,550	500	2,510
B01	12,306	26,368	2,714	7,544
B02	33,461	64,222	5,824	12,977
B03	6,645	17,580	1,479	4,786
B04	430	4,363	86	1,484
B05	1,165	2,667	243	839
C01	16,633	43,158	3,991	10,583
C02	3,746	7,906	1,130	2,383
D	2,798	24,336	1,421	7,897
E		64,668		14,527
G	781,632	3,869,133	123,307	510,463

TABLE 5
Distribution of sources of MSW at the state and municipal ranges

Source	Michoacan (%)	Morelia (%)	% Concentrated in Morelia
Industrial	1.7	1.7	16.4
Commercial	6.1	7.1	19.2
Markets	0.8	0.8	16.7
Informal commerce	1.3	1.3	16.7
Special	2.3	3.5	25.1
Institutional/services	0.3	1	50.8
Residential	87.5	84.6	15.8
Total	100	100	16.3

TABLE 6
Total generation of MSW and number of sources at the state and municipal ranges

Source	Michoacan (total sources)	Generation (ton día^{-1})	Morelia (total sources)	Generation (ton día^{-1})
Industrial	14,881	23.8	2,437	3.8
Commercial	54,007	32.4	10,346	6.2
Markets	7,062	104.3	1178	17.4
Informal commerce	11,558	83.9	1,928	14
Special	20,379	14.3	5,121	3.6
Institutional/services	2,798	2.2	1,421	1.2
Residential	781,632	1,946	123,307	307
Total	892,317	2,206.9	145,738	353.2



LEGEN: 1. Urban; 2. Industrial; 3. Rural

Fig. 1. Urban hypothetical municipality and the geographic areas of generation of SW.

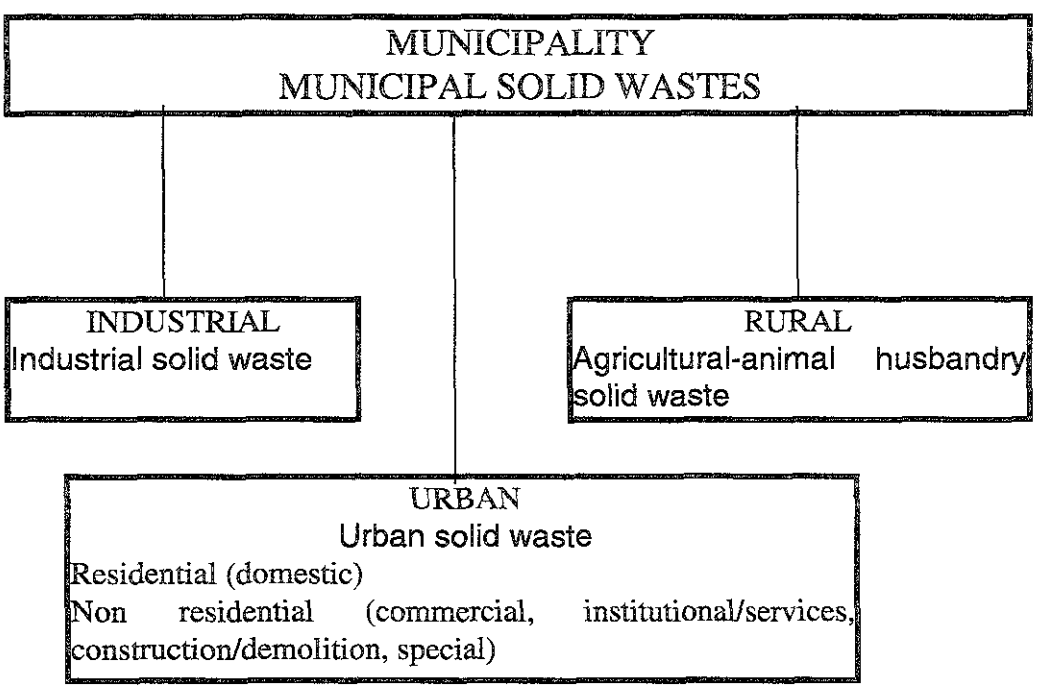


Fig. 2. The classes that each division produces.

4. URBAN SOLID WASTE GENERATION IN DEVELOPING COUNTRIES

Waste Management & Resources (enviado)

URBAN SOLID WASTE GENERATION IN DEVELOPING COUNTRIES

Otoniel BUENROSTRO[1], Gerardo BOCCO[1] and Gerardo BERNACHE[2].

[1] Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, A. P. 27-3 (Xangari), 58089, Morelia, Michoacán, México.
[2] Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social de Occidente. Avenida España 1359. Colonia Moderna, C.P. 44190. Guadalajara, Jalisco, México.

Abstract

The adequate management of municipal solid waste in developing countries is made difficult by the scarcity of studies about their composition. This paper attempts to analyze the composition of urban solid wastes in the city of Morelia, Michoacán, Mexico. This urban area is undergoing unplanned, fast growth. Residential and non-residential waste sources were sampled, and a structured interview was made to evaluate the socioeconomic characteristics of the studied area. Also, to determine the seasonal patterns of solid waste generation and the efficiency level of recollection service, quantification of solid wastes refused in the dumping ground was made.

Results show that residential sources account for 89.6% of the solid waste, and non-residential sources, for the remaining 10.4%. An ANOVA did not show differences among socioeconomic levels of residential and non-residential solid waste generation. A difference of 13% was found between solid wastes refused and collected, in like manner, generation of solid wastes increases during the summer and the winter.

Key Words- Municipal solid waste composition, waste refused, residential waste, Morelia, Mexico.

1. Introduction

Pollution caused by solid waste (SW) is blamable to its inadequate disposal. The environmental problem persists despite the advances in technology for the adequate management of SW. This advance has been mostly in the direction of decreasing the ecological impact of SW (pollution), but has neglected the analysis of other factors involved in SW generation, such as level of consumption, income, education, demographic growth and urbanization processes (Hockett *et al*1995).

The globalization of the economy, which affects the regional patterns of the consumption of populations (Daly *et al* 1993) is reflected in the similarity of urban solid wastes (USW) generation in developed and developing countries. The environmental impact of USW is amplified in the latter countries due to their inadequate management, which neglects criteria for decreasing the volume of generation, the impact on the environment and on public health, and resource conservation.

The environmental impact in less developed countries is further aggravated because of their precarious economies, which hampers the adequate management of USW. The search for alternatives to solve the environmental problems derived from USW generation must contemplate the existence of informal USW management practices and the resulting disorganization involved (Richardson *et al* 1995). In general disorganization and lack of planning of USW collection systems prevails, which is reflected in the absence of records of the SW collected and disposed in unsuitable places. Also, materials collected by marginally social people, an activity-taking place in unhealthy conditions, endangering the health and welfare of these sectors of the population.

Data describing composition of USW, as well as processes explaining generation are essential in decision-making, for adequate management of USW. The variables involved in USW generation have differential trends among regions (Hockett *et al* 1995). This has been demonstrated in several studies attempting to ascertain the effect of socioeconomic descriptors on USW generation, such as per capita income in countries having different levels of development (Ali Khan 1989). Other studies have compared the effect of income levels in USW generation in some African cities (Adedibu 1985); other have analyzed cities having similar levels of development and industrialization, in which the influence of culture in the generation of USW is demonstrated (Matsuto *et al* 1990).

In addition, it has been shown that the estimates of USW generation have been based on different approaches; this hampers the comparisons of results (Bowen *et al* 1995). Likewise, it has been established that waste generation coefficients derived from national statistics do not represent USW generation at the regional scale, and hence, their adoption may lead to inaccuracy of generation estimates (Rushbrook 1988).

Based on data obtained from SW landfills, McBean *et al* (1993) and Rushbrook *et al* (1988) have suggested methods for estimating SW generation in the Canadian region of Waterloo and in England, respectively. Generally, in developing countries, there are no data of the SW disposed or refused, and the collection systems are quite inefficient. Because of this, the design of SW management plans is ill defined and errors arise when considering the amount of waste collected as surrogate of waste refused.

The adoption of a process or technology for USW management must be preceded by an analysis of generation, from which the essential parameters for

decision-making will be formulated. These parameters are, among others: a) what is the amount of USW generated per day and per inhabitant?; b) what type of residues are generated?; c) which and how many sources of USW are involved?. In developing countries the available information about these matters is very scarce.

The general objective of this study is to formulate an approach to guide the analysis of the generation and composition of USW in cities undergoing an unplanned, fast growth. Specific goals are: 1) to determine per capita USW generation rates; 2) to assess the relative contribution of each source involved in USW generation; 3) to know the socioeconomic conditions in which USW generation occurs, and, 4) to quantitatively compare the volume of USW generated with that collected in order to evaluate the efficiency of the waste collection service.

2. USW generation in the studied area

This study was carried out in the city of Morelia, the capital of the state of Michoacán, in Mexico. This city was selected because of its accelerated urbanization process, which, as in most cities in developing countries, triggers a set of environmental problems. Among these, one of the most serious is the increasing generation of USW and their inadequate disposal.

In the study area, the collection of solid waste is made by a public service (municipal waste collection service) and by private services provided by eight associations (private waste collection service). Nevertheless, no data exist about the generation and composition of USW, about the number of collection units in operation, about the number of pickups made each day by these units, nor have the collection itineraries they follow been studied.

The USW of Morelia are disposed in a dumping ground, where a scale to weigh the collected waste is not available. This ground is inadequately localized and its functioning does not comply with the present environmental regulations (SEDESOL, 1994).

3. Method

Each one of the units forming part of the municipal waste collection service were monitored in order to know the range of the city covered by this service and to determine sampling areas. The itinerary of each one of these USW collection units was digitized and displayed in a geographical information system (GIS) (ITC, 1993) map of the city.

The amount of USW collected by the municipal service of Morelia was quantified. In order to find out if there were differences between the estimate of USW collected and the volume of USW refused, we quantified the amount of USW collected by the private waste collection service, between April 1996 and December 1997 (eight associations with about 350 units, during 436 days); the same procedure was carried out for the municipal waste collection service from May to December 1997 (34 units, during 230 days). Those data were captured and processed in a database Excel, version 1997 (Microsoft, 1998).

The loading capacity of the municipal collection units was determined by the differences in weight when empty and when loaded to their usual capacity during an average weekday operation. The same procedure was followed using randomly chosen units belonging to the private waste collection service. Data from the private waste collection service were additionally analyzed for monthly seasonal fluctuations in USW generation. The amount of USW refused and collected daily in Morelia was described using equations 1 and 2.

$$USW\ collected\ per\ unit = (Number\ of\ trips) \times (Unit's\ loading\ capacity) \quad eq.1$$

$$Total\ USW\ collected = (Total\ private\ collection) + (Total\ municipal\ collection) \quad eq.2$$

3.1. Residential sources

The analysis of sources and composition of USW is based on our own classification of municipal solid wastes (MSW) (Buenrostro *et al* 1999a). Here, MSW are defined as the solid waste generated within the territorial limits of the municipality, independently of its characteristics and sources. Three categories are considered in this classification: urban, industrial and rural. The first originates true USW, i.e., the solid waste generated in human settlements. Within the urban division, two subdivisions are recognized: residential (dwellings) and non-residential. The latter includes commercial, institutional/services, construction/demolition, and special. Special waste is generated by sources such as hospitals, drugstores, etc.

A stratified sampling was designed; the number of samples per stratum was determined by the Stein's procedure (Mendenhall *et al* 1986). The sampling sites were chosen following the socioeconomic stratification made by the Mexican bureau responsible for the census (INEGI, by its Spanish acronym). The socioeconomic stratification of INEGI divides the population in three income classes (INEGI 1991):

a) low class: Monthly income of less than one minimum wage (about $90.00 US dollars per month in 1998).

b) middle class: Monthly income of one to two minimum wages (about $180.00 US dollars).

c) upper class: Monthly income above two, and up to five minimum wages (about $450.00 US dollars).

We distributed plastic bags to each selected dwelling in order to collect the SW produced daily. Simultaneously, each household was surveyed to gather the following socioeconomic data: the monthly income of the household, the number of persons living in the dwelling, the sex and age of the residents, the educational level of the heads of the household, the land tenancy regime of the household, and availability of automobiles.

The questionnaires were grouped by socioeconomic level and the answers were captured and analyzed in a database Excel version 1997 (Microsoft, 1998). Further data were subjected to a descriptive statistical analysis.

3.1.1. USW Composition analyses

The bags previously labeled were weighed and the refuse was unloaded on a table of the municipal waste facility. The sample was sorted by hand, and the waste belonging to each category was weighed in previously weighed trays. The weights of each tray filled with selected components were recorded following a modified classification for the Ministry of the Environment (SEMARNAP, by its Spanish acronym), SEMARNAP is the Mexican governmental agency in charge of environmental regulation. After the separation and weighting was completed, the total weights were added to corroborate the initial total weight of the sample bags.

3.2. Non-residential sources

A random sampling was made in three areas of the city of Morelia where non-residential sources of USW are located. Bags were distributed to each source and questionnaires were applied to describe: the economic activity; the main products and/or services provided, sold or manufactured; the number of working days and working hours per day, and the size of the facilities.

While the number of samples for each class of source was determined by the Stein's procedure (Mendenhall *et al* 1986), the total number of samples included in the statistical analysis was determined by the amount of samples retrieved from each selected source. The samples of SW were taken during the visits to the sources. The approximate time of generation of residues was inquired, bags were labeled, and the composition of the samples was analyzed as previously described for residential sources.

4. Results and discussion

A GIS (ITC, 1993) was used to plot the itineraries recorded during the monitoring of waste collection vehicles (Fig. 1). This analysis estimated the collection coverage in about 30% of Morelia. The remaining part of the city is covered by the private waste collection service, which does not have properly established collection itineraries; this causes a saturation of the service for certain areas, and the total absence of waste collection service in others.

The operational criteria of the official waste collection service are random, rather than based on planning. The collection itineraries are determined by the habits inherited from previous administrations and by the economic interest of operators, which receive money from certain business for collecting waste on given days. Itineraries are also modified because of the availability of fuel for the refuse collection trucks, the labor schedule, absence of operators, social demand and the availability of collection vehicles.

4.1. Total waste collected in Morelia

Table 1 contains the results derived from the application of equations 1 and 2. The estimated amount of USW collected by the municipal waste collection service is proportional to the area of Morelia covered by this service. In order to calculate the amounts of refuse on a per-capita basis, the exact population in the test area must be known (Matsuto *et al* 1990). According with INEGI (1991), the city of Morelia has an annual growth rate of 2.2%. This growth rate was used to extrapolate the more recent data available of the population of Morelia for the years 1997 and 1998, and thus, to estimate per-capita generation of USW on the basis of the amount of waste collected.

The analysis of the amount of USW collected between December 1996 and November 1997 by the private waste collection service indicated that this service covers 70% of the city, and that there is a monthly fluctuation in the generation of USW in Morelia. Despite this study did not include the physical analysis of USW (humidity, volumetric weight, etc.), a seasonal effect was observed, which is well known (Buenrostro *et al* 1999c), both on the contents of humidity of USW and in the level of consumption of the population. This effect consists in a seasonal sequence in the consumption of fruits and vegetables during the summer and fall, which results in increasing amounts of organic solid waste.

Figure 2 indicates a decrease in the amount of USW generated during February, which may be due to the low content of humidity of solid waste during the dry season, and to the reduction in the population's level of consumption after the Christmas holidays. During the summer (June to September), there is a growing trend in the generation of USW; this rise is probably caused by the increase in the content of humidity of wastes during the rainy season. Nevertheless, the analysis of generation needs to include the physical analysis of residues, and to be expanded to cover all four seasons of the year or at least, dry and rainy periods. The above would allow us to know the seasonal variation in USW generation.

4.2. Residential sources

The sampling took place during the months of February and March 1998. The generation analysis was made per household; the percentage of recovered samples was 71%. The procedure of Dixon (Steel *et al* 1980) was used to reject dubious observations. A total of 19 samples were rejected. Table 2 indicates the number of bags distributed and recovered in each of the sampled strata.

Table 3 shows the generation rates and the percentage of each waste component for residential sources. Both the per capita generation rate and the refuse composition show a positive correlation with the socioeconomic class; both follow a pattern, which is similar to that observed in countries with a relatively higher income (Ali Khan *et al* 1989). However, despite that the per-capita generation rates show a positive trend from the low to the high socioeconomic stratum, the difference is not statistically significant (Fc 2, 242, 0.05) (Table 4). The homogeneity of variances was corroborated using the C Cochran test (3, 242, 0.05) (Mendenhall *et al* 1988). Thus, the per-capita generation for residential sources was determined at 0.629 k day^{-1} (Table 5). This value

is close to 0.7 k day^{-1} reported in the 80´s, and below 1 k day^{-1} reported in the 90´s (SEDESOL/INE 1994).

The difference may be due to the fact that the *per capita* generation rates previously reported were estimated based on the basis of a generalization of regional studies for large areas in Mexico. Likewise, it may indicate that the level of consumption of Mexicans has decreased with respect to the levels reached in the 80´s, following the economic crisis of the year 1995.

The high socioeconomic class generates larger amounts of paper and of yard waste. This component is conspicuously absent in refuse from low-income households, which may be explained because of the absence of gardens in the dwellings, or, where present, it has no turf. In general, urban animals occupy yards in low-income households. This may account for the presence of dust and ash in the samples from the poorer households; additionally many streets lack pavement or sidewalks, and a large majority of these dwellings has dirt floors.

The low-income households generated more wood, building materials, synthetic fibers, feces, batteries, plastic film and disposable diapers. These last two findings, disagree with previous reports (ENSIC 1984; Rushbrook *et al* 1988; IDAE, 1989). A possible explanation is the low cost of plastic film in Mexico; in fact, it is frequently given for free in stores using it to pack food and other merchandises; additionally, in Mexico there is no regulation for restricting the use of this material.

With regard to feces and batteries, the results showed the opposite trend to what was expected. It is usually assumed that high-income households have more pets and higher levels of battery consumption than other households. However, this rationale is unsupported by the predominant presence of feces and batteries in the samples generated by low-income households. One possible explanation is that, in Mexico, the type and localization of dwellings does not necessarily reflect the real income of the household, as is the rule in developed countries. Such pattern has been found in this study, and in a similar one made in another Mexican City; thus, social and urban marginality may not correlate in these cases (Bernache *et al* 1998).

Environmental awareness[1] may be increasing with income. Higher-income families are acquiring the habit of sorting refuse or of diminishing refuse generation. However this aspect needs further research.

In the poorer socioeconomic stratum the number of residents under three years is twice that in the middle, and seven times that in the higher class. This may account for the higher content of disposable diapers in their refuse; in turn, this may indicate a change in people's consuming patterns. In general, disposable diapers were considered to be commodities almost exclusive of families with higher income.

The middle class households generated relatively more bone, rubber, rigid plastic and ferrous metal. Additionally, several components showed similar generation indexes to those in the high-class households. In general, large amounts of food were found in the refuse samples from the three socioeconomic strata. In the poorer, tortillas predominated; whereas in middle and high classes, bread, cookies and spoiled food

[1] By environmental awareness, it is meant the types of information, opinions, values, and attitudes of citizens with regard to environmental problems. Bernache, G. *et al* Basura y metrópoli. México.Ciesas-Occidente, Iteso, Col-Jal, U. De G. 1998. pp 51.

were dominant. These results agree with reports by Rathje *et al* (1992), in a study of the composition of SW in Tucson, Phoenix, and Mexico City.

The inclusion of a total of 31 items to characterize the quantity and quality of USW resulted in a longer time needed for examining individual samples. However, the level of detail in the analyses provides information, which is more relevant for future "3R" programs (reutilize, reduce, recycle), as well as more elements to understand the processes of USW generation in these settlements.

With regard to the socioeconomic analysis of these sources, the results suggest the following characteristics:

1. Income is inversely related to the number of dwellers per household. The density of dwellers per household was higher in the low level, and less in the high level.
2. The educational level increased with income. Women from the three socioeconomic strata had relatively lower educational level than men; the lowest educational levels corresponded to the sector with the lower income. These variables behaved following a similar pattern to that reported by Heinen (1995).

4.3. Non-residential sources

A total of 117 non-residential sources were interviewed, but only 32 samples of SW were recovered; the descriptive statistics analysis was made using these samples. The procedure of Stein (Mendenhall *et al* 1986) indicated that the number of samples was statistically sufficient. The sources were grouped following the classification in Table 6.

The characterization and quantification of components was made as described for residential sources. For each class of source included, estimates were made of daily generation by site and by employee, generation rate for each class, and, percent contribution of each component (Table 7).

The ANOVA did not reveal a significant difference between generation rates by class, nor in the generation by component (respectively, Fc. 3, 31, 0.05 and Fc. 3, 131, 0.05) (Tables 8 and 9). Homogeneity of variances was corroborated by the C test of Cochran (4, 31, 0.05). The industrial sources found in the city were classified as microindustries, due to the number of employees, size of facilities and the volume of production and sale, although these two last variables were not measured in this study.

Table 10 shows the results of the interview, grouped by class. The sampling of industrial sources included only those within the urban area and, as mentioned above, they were categorized as microindustries. The median and large industrial sectors, which are generally located in the outskirts of the urban area, were not included in this study.

4.4. Total generation of urban solid waste

Table 11 depicts the results of total generation of SW for each class of source analyzed. The USW of Morelia were assessed for an estimated population of 510,463 inhabitants, with a per capita generation rate of 0.629 k day^{-1}: this yields a total SW generation of 321 tons per day.

The non-residential subdivision comprises 19,325 sources for the four classes in which they were classified. The quantification of non-residential sources was based on data from the 1994 economic census (INEGI, 1996). This census is based on the system used by the International Standard Industrial Classification (ISIC) (United Nations, 1971). It provides estimates for the number of industrial, commercial and services establishments at the municipal and state levels. The analysis of this subdivision estimated a per capita generation rate of 0.925 k day^{-1}, amounting to a total of 18 tons per day of SW generated in the urban area of Morelia.

The analysis made here included a sector of the economy which is not contemplated by the economic census, but which has considerable relevance in most developing countries due to the large number of people involved. This sector is the informal commerce, taking place in temporal stands, or only on certain days of the week. The informal commerce is constantly expanding, especially in ambulant, weekly-markets (called *tianguis* in Mexico). Buenrostro *et al* (1999b), reported a total of 1546 commercial stands in 6 markets within Morelia; of these, 1178 are permanent, the remaining 368 are ambulant, which add to about 1560 commercial stands installed every day throughout the city in the *tianguis*. This same study reported a total generation per stand of 7.25 k day^{-1}; of these, about 83% correspond to stands which sell food and which generate SW containing about 92% of organic matter.

Thus, the informal commerce and markets generates an extra amount of 31.4 tons day^{-1}, which added to the figures stated above, results in a total generation in Morelia of 367 tons day^{-1} of USW.

The residential subdivision contributes with 87.4% of the total USW generated within the metropolitan zone of Morelia. The remaining 12.6% is generated by the non-residential category. Both estimates vary in 15%: the results derived from the analysis of SW disposed of in the dumping-ground (311 ton day^{-1}); and, of SW generated (367 ton day^{-1}). This difference may be explained by the fact that not all SW generated are picked up by the municipal and the private waste collection services, but are abandoned in empty lots, in the streets, along the fringes of the city and in clandestine dumps. Also, it must be considered that an undetermined number of individuals refuse their waste in the municipal dumping ground, but because there is no permanent control of its access, these entries are not quantified.

5. Conclusions

The present analysis of the generation of USW in Morelia was based on a hierarchical classification, which groups the different sectors of the economy in classes of sources. This classification is based on the use of census statistics for quantifying the sources at different geographical ranges (locality, municipality, state, and country), and it is thus useful to obtain confident estimates of SW in less time and less expensively.

This analysis resulted in ostensibly lower generation rates than those reported previously, which confirms the need to intensify the studies made at a reduced geographical scale.

This study excluded the analysis of SW generated in the streets. It is plausible to consider that a fraction of these SW is included in the uncollected waste. CONADE (1992) reported a 30% of such residues in the cities of Mexico. An in-depth study of this

class of wastes is suggested, as well as of the waste generated by the informal commerce, given that this sector is constantly expanding in developing countries; however, there are no confident statistics describing their amount and localization.

The results presented here show that the recorded amount of SW disposed of in the municipal dumping-ground is less than the estimated amount of SW generated; for this reason, this former amount is not recommended as an unbiased indicator for the effects of planning for public waste collection services. Nevertheless, it is essential that dumping-grounds are permanently monitored and that the incoming waste be weighed in order to have a more efficient record of USW refused in the dumping-ground per day, given that these data are fundamental for developing adequate managing strategies.

The low number of non-residential samples in the study was due to the low level of participation of these sources. Because of this, information programs addressed to the selected sources, which notify about the objectives and goals of the analysis of SW composition, should precede the sampling. In order to achieve this, it is necessary to work together with the society, the governmental agencies, the chambers of commerce, services and the industry, and to emphasize the discretion and professionalism with which the volunteered information will be employed.

In this study data were taken from the 1994 census, notwithstanding that there has been changes in certain sectors of the economy, given that there is no way to corroborate this until the next census in the year 2000. However, the use of a classification makes it possible to update the number of sources involved, relatively frequently, and at a reasonably low cost.

Acknowledgments

Research on which the paper is based was granted by Conacyt through a doctoral scholarship to the first author.

References

Adedibu, A. A. (1985) A comparative analysis of solid waste composition and generation in two cities of a developing nation. *The Environmentalist* **5** (2), 123-127.

Ali Khan, M. Z & Burney F. A. (1989). Forecasting solid waste composition-An important consideration in resource recovery and recycling. *Resources, Conservation and Recycling* **3**, 1-17.

Bernache, G., Bazdresch, M., Cuéllar, J. & Moreno F. (1998). Basura y metrópoli. (Garbage and metropolis). Ciesas-Occidente, Iteso, Col-Jal y U. de G. México, p. 238.

Buenrostro, D. O., Bocco, G, Cram, S & Garza, J. (1999a). Classification and assessment of municipal solid wastes and sources in developing countries, manuscript submitted to *Resources, Conservation and Recycling.*

Buenrostro, D. O, Bernache, G, Cram, S. & Bocco, G. (1999b) Análisis de la generación de los residuos sólidos en los mercados de Morelia (Solid waste generation analysis in markets of Morelia). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* **15** (1).

Buenrostro, D. O., Cram, S., Bernache, G. & Bocco, G. (1999c) La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales (Anaerobic digestion as alternative treatment of the organic solid waste fraction generated in markets) *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, in press.

Bowen, M. M, Kontuly, T. & Hepner, F.G (1995) Estimating maquiladora hazardous waste generation on the U.S./Mexico border. *Environmental Management* **19** (2), 281-296.

Comisión Nacional de Ecología (CONADE). (1992) Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente, 1989-1990. (Report on the general situation in regard to ecological equilibrium and protection of the environment, 1989-1990) México, p. 210.

Daly, E. H & Cobb, B. Jr. (1993) For the Common Good. Redirecting the Economy toward Community, the Environment, and a Sustainable Future. Boston, Mass. U.S.A. Beacon Press, p. 466.

Environmental Sanitation Information Center (ENSIC). (1984) Sanitation environmental reviews No 13/14. Recycling of solid wastes. Asian Institute of Technology, Bangkok, p. 103.

Heinen, J.T. (1995) A Review of, and research suggestions for, solid-waste management issues: The predicted role of incentives in promoting conservation behavior. *Environmental Conservation* **22** (2), 157-166.

Hockett, D., Lober, D. J. & Pilgrim, K. (1995) Determinants of per capita municipal solid waste generation in the southeastern United States. *Journal of Environmental Management* **45**, 205-217.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (1989) Incineración de residuos sólidos urbanos (Incineration of urban solid wastes), Madrid, España, Edición Especial Cinco Días, p. 104.

International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC) (1993) ILWIS 1.4. User's manual. First edition. The Netherlands, p. 375.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (1991) XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. Resultados Definitivos, Tabulados Básicos (XI Census of population and housing), México, p. 2384.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (1996) SAIC. Sistema Automatizado de Información Censal 3.1. Censos Económicos 1994 (SAIC. Automated system of census information 3.1. Economical census 1994), México.

McBean, E.A. & Fortin, M.H. (1993) A forecast model of refuse tonnage with recapture and uncertainty bounds. *Waste Management and Research* **11**, 373-385.

Matsuto, T. & Ham, R. K. (1990) Residential solid waste generation and recycling in the U.S.A. and Japan. *Waste Management & Research* **8**, 229-242.

Mendenhall, W., Scheaffer, L.R. & Wackerly, D. D. (1986). Mathematical Statistics with Applications. U.S.A. PWS Publishers, p. 751.

Microsoft Corporation (1998) Microsoft Excel 97.U.S.A.

Richardson, G. M. & Whitney, J. B. (1995) Goats and garbage in Khartoum, Sudan: A study of the urban ecology of animal keeping. *Human Ecology* **23** (4), 455-475.

Rathje, W. Y Murphy, C. (1992). Rubbish! The archeology of garbage. Harper Collins, New York, NY, USA, 263p.

Rushbrook, P.E. & Finnecy, E.E. (1988) Planning for future waste management operations in developing countries. *Waste Management and Research.* **6** (1), 1-21.

Secretaría de Desarrollo Social/Instituto Nacional de Ecología (SEDESOL/INE) (1994) Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1991-1993 (Report on the general situation in regard to ecological equilibrium and protection of the environment 1991-1993) México, p, 220.

Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) (1994). Norma oficial mexicana NOM-083-ECOL-1994 (Mexican official standard NOM-083-ECOL-1994) Diario Oficial de la Federación, México, 3 p.

Steel, R. R. & Torrie, H. J. (1980). Principles and Procedures of Statistics. A Biometrial Approach. USA. McGraw-Hill, Inc. p. 622.

United Nations (1971) Indexes to the international standard industrial classification of all economic activities, United Nations statistical papers, Series M, No. 4, Rev. 2, Add. 1. United Nations Publication, New York.

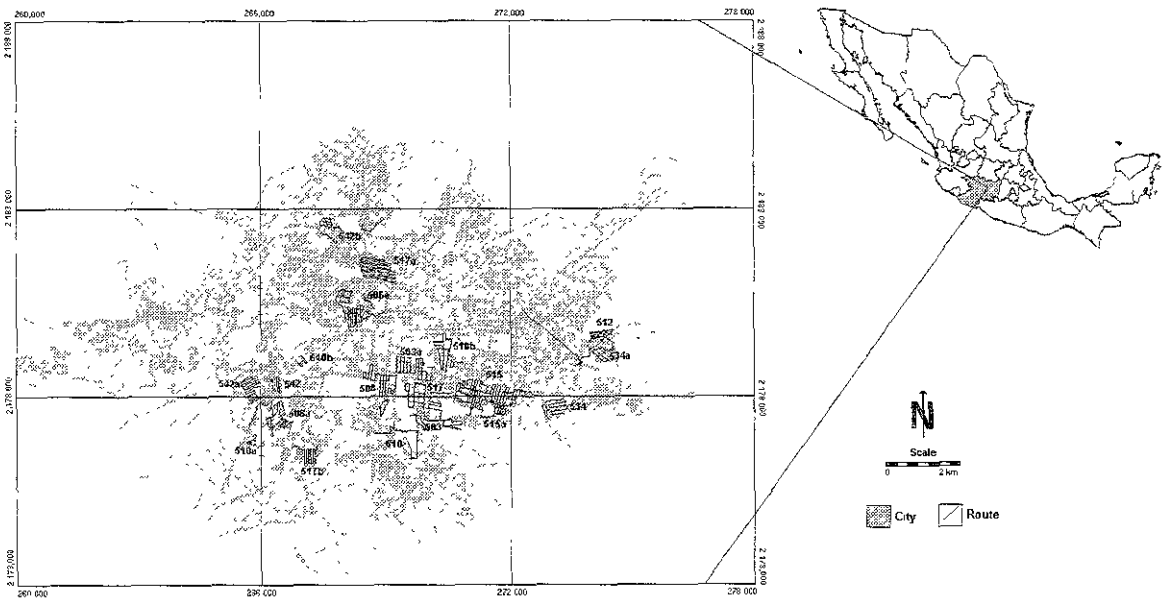


Figure 1 Collection itineraries of the municipal waste collection service in the study area. Source: Field work. Urban plotting: INEGI (1990)

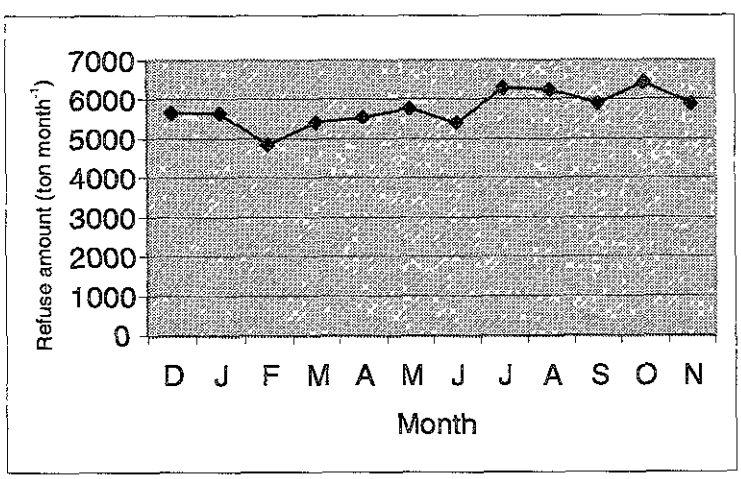


Fig. 2. Monthly USW collection in Morelia during 1996-1997

TABLE 1
Solid Urban Waste collected in Morelia (t day^{-1} fresh weight)

Municipal waste collection service	89.49 t
Private waste collection service	214.91 t
Total collection 1997 (499,475 inhabitants)	304.4 t
Total collection 1998 (510,463 inhabitants)	310.9 t
Per-capita	0.609 k day^{-1}

TABLE 2
Summary of samples used for the analysis of residential sources

SOCIOECONOMIC CLASS	BAGS DISTRIBUTED	BAGS RECOVERED
LOW	89	65
MIDDLE	132	101
HIGH	148	96
TOTAL	369	262

TABLE 3
Residential generation rate (g cap^{-1} day^{-1}) and composition of refuse (% of wet weight)

Component	Low-class		Middle-class		High-class		Average	
	g	%	G	%	g	%	g	%
Cotton	0.5	0.11	0.002	0.0003	0.12	0.02	0.2	0.04
Cardboard	13.09	2.65	12.7	2.17	15.02	2.27	13.6	2.36
Leather	0.18	0.04	0.95	0.16	0.08	0.01	0.4	0.07
Fine residue*	0	0	0	0	0	0	0.0	0.00
Waxed-cardboard	1.01	0.20	6.98	1.19	7.4	1.12	5.1	0.84
Hard plant fiber	1.48	0.3	0.92	0.16	4.24	0.64	2.2	0.37
Synthetic fibers	1.4	0.28	1	0.17	0.18	0.03	0.9	0.16
Bone	2.46	0.50	7.71	1.31	4.15	0.63	4.8	0.81
Rubber	0.35	0.07	1.01	0.17	0.18	0.03	0.5	0.09
Ceramic and shreds	4.7	0.95	3.16	0.54	1.3	0.20	3.1	0.56
Wood	8.69	1.76	0.04	0.06	1.11	0.17	3.3	0.66
Construction material	1.43	0.29	0.21	0.04	0	0.00	0.5	0.11
Non ferrous material	0.59	0.12	4.41	0.76	1.75	0.27	2.3	0.38
Ferrous material	8.15	1.65	9.21	1.57	7.6	1.15	8.3	1.46
Paper	27.09	5.49	49.83	8.51	58.6	8.87	45.2	7.62
Disposable diaper	67.99	13.78	43.95	7.51	20.29	3.07	44.1	8.12
Feminine towel	0	0	1.03	0.18	1.39	0.21	0.8	0.13
Feces	1.96	0.40	1.15	0.20	0.9	0.14	1.3	0.24
Plastic film[1]	25.79	5.22	18.53	3.16	19.32	2.92	21.2	3.77
Rigid plastic[2]	17.62	3.57	25.92	4.43	24.67	3.73	22.7	3.91
Rubber foam[3]	0.43	0.09	0.12	0.02	0.05	0.008	0.2	0.04
Dry ice[4]	0.68	0.14	1.69	0.29	2.85	0.43	1.7	0.29
Polypropylene	0.8	0.16	2.16	0.37	1.95	0.30	1.6	0.28
Food remains	201.65	40.88	329.79	56.37	367.32	55.6	299.6	50.95
Garden clippings	0	0	18.64	3.18	75.27	11.39	31.3	4.86
Rag	20.23	4.1	1.84	0.31	6.77	1.02	9.6	1.81
Colored glass	0.45	0.09	2.56	0.44	0.46	0.07	1.2	0.20
Clear glass	18.89	3.83	29.17	4.98	30.27	4.58	26.1	4.46
Batteries	0.49	0.10	0.45	0.08	0	0	0.3	0.06
Ash	61.26	12.42	6.98	1.19	4.91	0.74	24.4	4.78
Other**	3.74	0.76	2.44	0.42	2.32	0.35	2.8	0.51

*This item is recorded as zero, because the fine residue remaining after composition analysis was quantified as ash and dust, due to the abundance of the latter in the refuse.

**This item includes, cellophane, aluminum foil, electrical material, cigarette butts, modeling clay, and shoes.

[1] Plastic skinny and flexible. Includes junk-food bags, low density polyethylene; also laminated plastic, which includes laminated tubes that are utilized for packing toothpaste and other similar products.

[2] Includes polyethylene thereftalathe, high-density polyethylene, polyvinyl chloride.

[3] *It refers to polyurethane.*

[4] It means polystyrene.

TABLE 4
Summary of the ANOVA of per capita generation rates of USW by socioeconomic level

Source of variations	Sum of square values	Degrees of freedom	Average of square values	F	Probabilit y	Critical value of F
Between groups	380,876.77	2	190,438.38	1.055	0.349	3.033
Within groups	43,320,760.82	240	180,503.17			
Total	43,701,637.59	242				

TABLE 5
Generation rates of USW by socioeconomic level (k day^{-1} fresh weight)

Income level	Amount sampled (k)	Average number of person per household	Generation rate (k per home day^{-1}	Generation rate (k $capita^{-1}$ day^{-1}
Low	183.47	4.7	2.30	0.578
Middle	258.91	4.2	2.45	0.625
High	254.39	4.1	2.74	0.691
Average	696.77*	4.3	2.49	0.629

* Total sample analyzed in the three socioeconomic levels.

TABLE 6
Analyzed samples of non-residential sources

Source	Samples analyzed
Commerce	10
Not food	3
Food	7
Institutions/services	2
Microindustry	4
Special	16
Total	32

TABLE 7
Non-residential generation rate (g cap^{-1} day^{-1}) and composition of refuse (% of wet weight)

Component	Commerce		Inst./Serv.		Industry		Special		Average	
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
Cotton	0	0	0	0	0	0	0.15	0.02	0.04	0.005
Cardboard	18.7	4.39	0	0	20	1.1	43.38	7.13	20.52	3.15
Leather	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fine residue*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Waxed-cardboard	5.58	1.31	3.33	0.96	0	0	0	0	2.22	0.57
Hard plant fiber	0	0	0	0	0	0	0.47	0.07	0.11	0.017
Synthetic fibers	0	0	0.66	0.19	0	0	3.16	0.51	0.95	0.17
Bone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rubber	0.29	0.06	0	0	616.6	33.92	19.3	3.17	159.06	9.28
Ceramic and shreds	0	0	0	0	0	0	48.8	8.02	12.2	2.005
Wood	1.7	0.39	0	0	1050	57.76	18.02	2.96	267.43	15.28
Construction material	0	0	0	0	0	0	4.66	0.76	1.16	0.19
Non ferrous material	0.11	0.02	1.16	0.33	0	0	11.22	1.84	3.12	0.55
Ferrous material	9.11	2.14	0	0	0	0	26.8	4.4	8.98	1.63
Paper	33.29	7.82	13.83	3.99	116.83	6.42	39.38	6.47	50.83	6.17
Disposable diaper	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feminine towel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feces	0	0	0	0	0	0	19.85	3.26	4.96	0.81
Plastic film[1]	25.52	5.99	56.33	16.28	1.66	0.09	24.49	4.02	27	6.59
Rigid plastic[2]	19.94	4.68	57.16	16.52	0	0	36.3	5.97	28.35	6.79
Rubber foam[3]	0	0	0	0	0	0	0.33	0.05	0.082	0.012
Dry ice[4]	1.47	0.34	2.5	0.72	0	0	2	0.32	1.49	0.34
Polypropylene	1.23	0.28	5	1.44	0	0	1.11	0.18	1.83	0.48
Food remains	210.3	49.42	83.33	24.09	2.5	0.13	91.11	14.99	96.80	22.16
Garden clippings	0	0	0	0	8.33	0.45	2.49	0.4	2.705	0.212
Rag	3.58	0.84	92.5	26.74	0	0	6.49	1.06	25.64	7.16
Colored glass	0	0	0	0	0	0	15.84	2.6	3.96	0.65
Clear glass	31.17	7.32	25	7.22	0	0	56.94	9.36	28.27	5.98
Batteries	0	0	0	0	0	0	5.27	0.86	1.32	0.215
Ash	52.94	12.44	5	1.44	1.66	0.09	128.6	21.15	47.05	8.78
Other**	10.52	2.47	0	0	0	0	1.6	0.26	3.03	0.68
Daily generation	599.2		832		1559.7		709.5		925.13	
Gen./employee	289.8		450		779.75		402		480.39	

* This item is recorded as zero, because the fine residue remaining after composition analysis was quantified as ash and dust, due to the abundance of the latter in the refuse.
**This item includes, cellophane, aluminum foil, electrical material, cigarette butts, modeling clay, and shoes.
[1] Plastic skinny and flexible. Includes junk food bags, low density polyethylene; also laminated plastic, which includes laminated tubes that are utilized for packing toothpaste and other similar products.
[2] Includes polyethylene thereftalathe, high-density polyethylene, polyvinyl chloride.
[3] It refers to polyurethane.
[4] It means polystyrene.

TABLE 8
Summary of the ANOVA of generation rates by class of the non-residential subdivision

Source of variations	Sum of square values	Degrees of freedom	Mean of square values	F	Probability	Critical value of F
Between groups	2,841,125.71	3	947,041.90	1.472	0.243	2.946
Within groups	18,008,484.29	28	643,160.15			
Total	20,849,610	31				

TABLE 9
Summary of the ANOVA for the component generation rate for the non-residential subdivision

Source of variations	Sum of square values	Degrees of freedom	Mean of square values	F	Probability	Critical value of F
Between groups	156,757.26	3	52,252.42	1.132	0.338	2.675
Within groups	5,906,329.34	128	46,143.19			
Total	6,063,086.6	131				

TABLE 10
Statistics describing the economical situation in non-residential sources

Source	No. Of employees	Size of the installation (m^2)	Schedule (h)	Work days (Days/week)
Commerce	2.1	32.33	9.46	6.27
Not food	2	57.66	8.3	6
Food	2.3	18.33	11.08	6.83
Institutions/services	1.5	35.5	9.25	6
Microindustry	2	62	9.5	6.25
Special	2	28.7	8.6	6.06
Average	2	36	9.19	6.17

TABLE 11
Total generation of solid wastes per source (ton wet weight)

Source	Total (ton wet weight)	Total (%-wet weight)
Residential	321	87.4
Non-residential	46.2	12.6
Commerce	6.2	1.7
Markets	17.4	4.8
Informal commerce	14	3.8
Institutions/Services	1.2	0.3
Industry	3.8	1
Special	3.6	1
Total	367.2	100

TABLE CAPTIONS

TABLE 1
Solid Urban Waste collected in Morelia (t day^{-1} fresh weight)

TABLE 2
Summary of samples used for the analysis of residential sources

TABLE 3
Residential generation rate (g cap^{-1} day^{-1}) and composition of refuse (% of wet weight)

TABLE 4
Summary of the ANOVA of per capita generation rates of USW by socioeconomic level

TABLE 5
Generation rates of USW by socioeconomic level (k day^{-1} fresh weight)

TABLE 6
Analyzed samples of non-residential sources

TABLE 7
Non-residential generation rate (g cap^{-1} day^{-1}) and composition of refuse (% of wet weight)

TABLE 8
Summary of the ANOVA of generation rates by class of the non-residential subdivision

TABLE 9
Summary of the ANOVA for the component generation rate for the non-residential subdivision

TABLE 10
Statistics describing the economical situation in non-residential sources

TABLE 11
Total generation of solid wastes per source (ton. wet weight)

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1 Collection itineraries of the municipal waste collection service in the study a---
Source: Field work. Urban plotting: INEGI (1990)

Fig. 2. Monthly USW collection in Morelia during 1996-1997

FORECASTING GENERATION AND COMPOSITION OF URBAN SOLID WASTE

Otoniel Buenrostro and Gerardo Bocco
Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, Universidad
3Autonoma de Mexico, Campus Morelia
Javier Vence
Centro Regional Universitario Centro Occidente, Universidad Autónoma de Chapingo

Implications

Linear regression models based on socioeconomic variables are proposed to forecast urban solid waste generation. These models can assist solid waste management planners with efficient and easily applicable statistical instruments to describe and forecast the generation of solid waste. This is relevant in the development of solid waste management plans.

Accurate and detailed forecasts of solid waste generation allow municipal authorities to plan capacity requirements for waste treatment systems, collection and transportation systems, and to select sites and predict landfill lives. For policymakers and lawmakers, this approach contributes to improving regulations about solid waste generation.

Key words: Urban solid waste, developing countries, waste management.

ABSTRACT

Based on a study of the composition of urban solid wastes (USW) and of socioeconomic variables (Morelia, Mexico), generation rates were estimated, and the generation of residential and non-residential solid wastes was forecasted by means of a multiple linear regression analysis.

For residential sources the independent variables were: monthly wages, persons per dwelling, age and educational level of the heads of the household. For non-residential sources variables were: number of employees, area of facilities, number of working days, and working hours per day. The forecasted values for residential wastes were similar to those observed. This approach may be applied to areas in which available data are scarce, and in which there is an urgent need for the planning of adequate management of USW.

INTRODUCTION

The integrated management of urban solid waste (USW) requires data about: 1) the composition and characteristics of the waste generated, given that this information is an essential requirement for the adequate decision making regarding the selection of a

particular technology or management process; 2) the socioeconomic conditions associated with the generation of the USW, given that these conditions are specific and vary from place to place. This latter aspect is most important for planning management programs of USW in developing countries. Here, the effect of socioeconomic variables such as income, level of consumption and cultural and educational environment in the generation of USW is poorly understood[1, 2].

Most cities in developing countries undergo accelerated urbanization. The consequences of this urbanization process are the modification of the regional productive activities and of the habits of consumers. These change in consumers habit results in an increased generation of waste that is difficult to break down, such as plastics and glass[3]. The inadequate disposal of this waste in the neighborhoods of the urban centers creates a strong, negative environmental impact on soil, groundwater, the surrounding flora and fauna, and on public health.

In order to design studies of the USW generation, as well as management proposals, it is necessary to consider social and economic aspects. In developing countries, poverty of large sectors of the population is an instrumental cause for the increase of social underdevelopment and marginality[4]. These latter conditions lead to an increased complexity in the generation of USW in these countries.

The influence of socioeconomic factors has been analyzed in order to understand, model and predict the total generation and characteristics of USW. The variables more commonly analyzed are: community size, population density, monthly wages per capita, persons per dwelling, percentage of urban population, annual average temperature, age, sex, and ethnicity of the population, size of housings, the geographical characteristics, land use, productive activities, and communications[5, 6, 7]. The overriding variable influencing total waste generation is population[2].

Solid waste (SW) generation models may be grouped in two large classes:
A) Descriptive generation models. These provide information about the generation of SW by different sources, such as residential, commercial, institutional and industrial sectors. In general, these models are expressed in terms of generation rates, which are factors or multipliers relating the amount of waste generated with certain characteristics of the community, such as total population size, or number of persons employed[7]. Basically, generation data are obtained by means of four different types of sampling[8, 9]: 1) sampling of waste generated by representative sources (direct waste analysis); 2) sampling of the products derived from a given process of waste management (waste product analysis); 3) sampling of the materials utilized for the production of commodities by means of the enumeration of supplies (market product analysis); and 4) the weighting of representative samples of the loads of SW collection vehicles (tonnage estimation models).

B) Predictive generation models. In general, these models are based on generation rates[7]. The forecasting models may be developed using several statistical methods, such as: 1) the correlation of the socioeconomic variables with the generation of SW, and the application of linear regression models[5]; 2) principal component analysis to suggest indicators of potential generation of SW[10]; 3) the use of non-parametric

statistics to determine the distribution of probabilities in data of generation of SW[11]; and 4) the retrospective analysis by time intervals, in order to know the simultaneous influence of the variables involved in the generation of SW (geometric lag time series analysis techniques)[12].

The models and variables which, have been shown to be significant for developed countries have been extrapolated to developing countries. In general, these models do not include the differences in behavior of the explaining variables involved, nor the scarcity of data about the composition of SW. Likewise, in developing countries they do not account for the existence of informal practices, both in the generation and in the collection of SW.

Despite the environmental problem posed by the increasing generation of USW in developing countries, the available literature accounting for research made in this regard is scarce[13]. Notwithstanding the demographic growth, the expansion of industries, the modification of the alimentary habits, and the process of urbanization in developing countries, the corresponding authorities have not been urged to promote the development of research leading to an understanding of the patterns of generation of USW.

This paper contributes to this type of research; we present a case study aimed at forecasting the generation and composition of USW in the city of Morelia, (Michoacán) in México. As all-important cities in developing countries, Morelia is undergoing fast urban growth, mostly driven by the immigration of rural population. This is reflected in land use speculation, a chaotic expansion of the urban areas at the expense of agricultural land, and a sustained increase in the generation of USW. This waste is becoming increasingly similar in its characteristics to that generated in developed countries. However, the management of USW remains to be dictated by obsolete and inadequate criteria, which is common to all developing countries. As a result, USW is disposed of in inadequate dumping-grounds, following deficient planning of USW management[14].

The specific objectives of this research were: 1) to explain the generation of residential and non-residential USW by means of the estimation of generation rates; 2) to analyze the effects of income, density of dwellers per household, educational level and age in the generation of residential USW; 3) to analyze the effects of the number of employees, the size of facilities, the number of daily working hours and of working days in the generation of non-residential USW; 4) to test the efficiency of the latter socioeconomic factors in the development of regression models for the forecasting of generation of USW in fast growing urban areas.

The Urban Solid Waste

In this research, SW sources were sorted according to a classification[15], which groups the sources of SW in classes based on the International Standard Industrial Classification of all economic activities (ISIC)[16]. The urban solid waste (USW) is defined as all SW generated within any human settlement. Attending to the sources of generation, USW are divided in residential (household) (RSW) and non-residential (commerce, industry, institutions/services, and special) (NRSW). Each one of these sources generate different waste, which is defined accordingly, as follows:

1. Residential SW: The SW generated, either in single-family or in multi-family dwellings.
2. Commercial SW: The SW generated in commercial facilities, department stores, supermarkets, restaurants, markets and temporal ambulatory markets (tianguis).
3. Industrial SW: The SW generated in all processes of extraction, transformation and production.
4. Institutional and services SW: The SW generated in private and governmental offices, educational centers, museums, libraries, archaeological zones, and recreation centers, such as movie theaters and stadiums.
5. Special SW: The SW requiring of special techniques for control, either because of the relative hazard it represents, its particular condition or state, or because this is required by the standing legal regulations. This SW is generated in such sectors as research laboratories, medical institutions or facilities, automotive or industrial maintenance workshops, veterinarians, drugstores, airports and terrestrial transportation terminals[15].

METHODS

Sampling and Data Sources

A sampling was made of 243 households, stratified by socioeconomic level following the classification of the Mexican bureau in charge of the census (INEGI, by its Spanish acronym). This socioeconomic stratification establishes three levels of monetary income[17]:

a) low socioeconomic class: monthly income of less than one minimum wage (about $90.00 US dollars per month in 1999).

b) middle socioeconomic class: monthly income between one and two minimum wages (up to about $180.00 US dollars per month in 1999).

c) upper socioeconomic class: monthly income between two and five minimum wages (up to about $450.00 US dollars per month in 1999).

In all cases a questionnaire was applied in order to obtain precise data about the monetary income (income), the density of inhabitants per household (density), the age, and the educational level (education) of the heads of the households. Likewise, 32 non-residential sources, stratified by type of economic activity were sampled. In these cases, the questionnaires were aimed at knowing the number of employees (employees), the area of facilities (area), the number of daily working hours (hours), and the number of working days (days).

The variables analyzed in this study were assessed simultaneously with the sampling of the SW generated by each one of these selected sources. This was assumed to be important in order to ensure a better relation between variables; it has been shown that, if the SW is not assessed simultaneously with the socioeconomic data model development may be affected[7].

The socioeconomic data were considered as independent variables and data on generation of SW as dependent variables. Table 1 contains, for residential and non-residential sources, the names of the analyzed variables together with their description.

The total generation of SW was estimated using equation 1, as follows:

$$USW = An+Bn+Cn+Dn+Gn \qquad (1)$$

Where:
An, Bn, Cn, Dn, Gn represent the total generation per class generating

The rate of generation per class was estimated according to equation 2

$$C = \frac{(P)(G)}{T}(100) \qquad (2)$$

Where:
C: percent rate of generation per source.
P: per capita generation.
G: total number of sources per class generating.
T: total generation of USW.

The generation of each SW component per source was estimated following equation 3

$$\text{Component generation per source} = A(S_1+S_2+S_3+....S_n) = A(S_n) \qquad (3)$$

Where:
A: is the number of sources per class generating.
S_n: is the generation of each component.

Predicting Models

The differences in socioeconomic conditions are reflected in the composition of SW and in the rate of its generation. Because of this, an association between the generation of USW and the corresponding socioeconomic variables is to be expected[10]. Based on this assumption, a simple linear regression analysis was initially applied[18] to find the regression coefficient (R^2), between the independent variables. Subsequently, in order to test the hypothesis of independence between the selected explanatory variables, the Student test was applied on the coefficient R^2. Once this was corroborated, a multiple regression analysis (MLR) was performed to determine the probable shape of the relation between variables, and to estimate the generation of SW which corresponds to the values of the analyzed socioeconomic variables. Because the analysis included more than two variables, and these variables displayed a linear distribution, the MLR

analysis was utilized. From this, it may be ascertained that the generation of USW may be explained by a multiple linear equation, having the form of equation 4.

$Y = \beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+ \beta_4X_4..... + \varepsilon$ (4)

Where:

Y is the dependent variable;

β_0 is the intercept;

X_1, X_2, X_3, X_4,....are independent variables;

β_1, β_2, β_3, β_4, are regression parameters;

ε are residuals

The required statistical analyses were performed with the Statistical Analysis System program (SAS®)[19, 20, 21]. In order to determine the forecasting model, which was most appropriate for the generation of SW, the following criteria were applied:

1. Portion of sample variation explained (R^2). An ideal value of 1 for this coefficient indicates a good fit of the model.
2. Mean square (MS). The lower the value the better the fit of the model.
3. The level of significance of the model (Pr>F). For the model to be considered as significant, F must have a value of less than $\alpha = 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

Total Generation of USW and Percent Rates of Generation Per Source

In order to estimate rates of generation, *in situ* studies are necessary to know the amount and composition of waste. It is also essential to know the number of sources involved in the generation. Table 2 contains the results of the application of equations 1 and 2. The per capita rate of generation for each one of the sources considered was estimated from the descriptive statistics of the data for each source included in the sample (mean, standard deviation and variance).

In this urban settlement, the majority of the total USW is generated by residential sources, thus corresponding to RSW. The minor contribution of non-residential sources to the generation of USW is due to the fact that, in general, the micro and small industries are predominant in the urban centers of the developing countries. With the exception of the largest capital cities, in most urban centers in these countries, the large shopping malls are few or absent. Additionally, these sources do not dispose of their SW by means of the SW collection services, but in general, they hire or own their collection services to transport their SW to dumping-grounds. Usually, this SW is highly appreciated by the marginal groups of the population, which make use of them, due to its high content of metal and paper. The decomposing fruits and vegetables in this SW are normally used to feed domestic animals, and not infrequently, also for human consumption[22].

Within the urban areas, the industrial sector is dominated by the micro and small industries, represented by workshops. Most of these sources mix their SW in the USW stream, because they use the municipal SW collection service. The median and large industries (considering the number of employees, the size of their facilities and the

volume of their production of commodities) are concentrated in industrial parks which, in many cases, are surrounded by marginal residential settlements. These sources also transport their SW by their own means, but dispose of them in the dumping-grounds used for all other USW.

The informal commerce is defined as that sector which carries on their commercial activity without permanent stands, and on certain days. The relative importance of this ambulatory, informal commerce, mainly in tianguis (ambulant markets) and marketplaces, is constantly increasing in most developing countries, both in terms of their contribution to the total commercial activity, as of the number of people involved in it. In the present case, the tianguis and markets contribute with about half of the total SW generated by the non-residential sources.

Components Generation Per Source

Tables 3 and 4 show the results of the study of composition of USW. The rate of generation of each component was estimated by equation 3. The observed diversity of components suggests an increasing modification of the patterns of consumption among the inhabitants of the urban centers in developing countries. However, the composition of tianguis and markets SW account for more than 80% of organic matter. The knowledge of the rates of generation of each component is important for the design of programs intended for the recycling, reuse and recovery (3Rs) of USW. Nevertheless, with respect to developed countries, in developing countries, the level of recovery of components is higher[23]. The recovery of waste in developing countries is mainly carried out by marginal sectors of the population, by means of a diversified range of informal activities, such as the handpicking of materials during the collection of SW, at the source of generation, and at the dumping-grounds. This account for the difficulties involved in precisely determining the volume of USW, which is recovered and recycled in developing countries.

The sampling of the USW generated by the informal commerce included those sources, which are located in marketplaces and tianguis. In Table 4, the classification of components has a different format, due to the predominance of organic materials in the composition of this waste. Thus, all the organic materials derived from plants, such as remains of fruits and vegetables, were classified as agricultural organic matter (AOM). Similarly, all waste derived from animals, such as bone, hair, feathers and feces, was included in the class of animal-husbandry wastes (AHW).

Forecasting Generation of RSW

A simple linear regression analysis was applied to the selected socioeconomic variables, in order to corroborate independence between them. The estimated values of the regression coefficient (R^2) of the variables included in Tables 5 and 6 were under 0.7, indicating poor multicolinearity amongst the independent variables and independence between them[24]. The latter suggests that these variables are suitable for predicting the generation of SW. However, the variables age vs. income, educational level vs. income, and educational level vs. age, showed dependence, according to the

results of the tests of the hypothesis of independence made on the selected explanatory variables for the residential sources, following the t distribution of Student, with n-2 degrees of freedom and an α=0.05[18], and which was performed with the R^2 values derived from the simple linear regression analysis (Table 7). The above facts had the effect of decreasing the significance of the regression model when the four latter variables were included. The ANOVA of the regression gave an F value of 4.89, a Pr>F of 0.0008, a R^2 of 0.075 and a MSDR of 2.59. However, the variables age and educational level had non-significant regression coefficients, with respect to their value of t (0.83 and 0.87, respectively), indicating that these two variables do not explain variability in per capita waste generation. The latter confirms the results of the test for the hypothesis of independence by means of the Student t distribution. Because of the behavior described above, and in order to determine an optimal model, another model was tested including the two variables whose values of t were significant (income and density). The model of MLR developed is described below.

Model Including Two Variables (income, density). The ANOVA of the regression gave an F value of 9.82, a Pr>F of 0.0001, a R^2 of 0.075 and a MSDR of 2.57. This model did not show an increase in the coefficient R^2, but the level of significance showed a sensitive increase, and a decrease in MSDR was observed. These facts are decisive to consider this model as a better fit than the model with the four variables.

Table 7 shows the results of the ANOVA of the MLR analysis using this model, which was highly significant (α=0.05). The hypotheses stating that the regression coefficients of the variables are equal to zero (Ho: β_i=0 vs Ha: $\beta_i \neq 0$) was rejected for estimators β_o, β_1 and β_2 at α= 0.05. This suggests that the proposed model using variable income and density may be applied to explain the MLR relation, and to forecast the generation of RSW, as is shown in equation 5:

$$Y = \beta_o + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \qquad (5)$$

Replacing values:

$$RSW = 1.02 + 0.000072 X_1 + 0.236 X_2$$

According to equation 5, the predicted value of RSW generated is 2.46 k, which is close to the observed value of 2.49 k. Despite that the model is highly significant, the low value of R^2 (0.075) shows that the variables which are suggested for the forecasting of RSW generation are yet of limited value to explain the total variation in the data. However, in previous studies using MLR to predict RSW components, R^2 coefficients between 0.26 and 0.57 have been reported[5]. Nevertheless, the models applied here include variables do not having significant values of t, and thus, are not useful for the forecasting of RSW generation.

The models developed in this study provide the basis to narrow down the analysis of other factors involved in the generation of USW, such as temperature. In a previous study, it has been reported[14] a marked seasonal pattern in the generation of USW in urban areas. This was explained for the predominance of some foodstuffs in certain seasons of the year, and as drops and surges in consumption, which derive from seasonal and economic fluctuations such as the Christmas season. The data used in the present study were gathered during a single season (March), which undoubtedly should affect the forecasting capability of the model, despite that the socioeconomic

variables selected may be suitable. Yet, compared to the literature these data remain to be relevant.

Forecasting Generation of NRSW

The test for the hypothesis of independence by means of the Student t distribution with n-2 degrees of freedom and α=0.05, showed that all selected socioeconomic variables are independent (Table 8). This suggests that the optimal model for the forecasting of the generation of SW for the non-residential sources is that including the four variables considered (employees, area, hours, and days). However, the ANOVA of the MLR of the model with all four variables was not significant (Pr>F=0.17). In consequence, runs were made using different models to determine which was more adequate in terms of the level of significance. From this analysis it was determined that the model including variable X'_3 (hours) and X'_4 (days) was considered to be optimal for the forecasting of NRSW.

Inclusion of these two variables increased the significance level to 0.05, the R^2 to 0.177, and a decrease of the value of MSDR to 591, which suggests that it may be applied to explain the relation of the MLR with the selected socioeconomic variables. Moreover, for estimator β'_4 and for the intercept β'_0 the hypothesis stating that the regression coefficients of the variables are equal to zero, at α= 0.05 (Ho: β_i=0 vs Ha: $\beta_i \neq 0$) was not rejected. In consequence, the model including variable X'_3 (hours) and X'_4 (days) was the only significant, and thus adopted as the final model. Table 9 shows the results of the ANOVA of the MLR analysis, and equation 6 gives the model for the forecasting of the generation of NRSW.

$Y' = \beta'_o+\beta'_3X'_3+\beta'_4X'_4$ (equation 6)

Replacing values:

$NRSW=0+192.17X'_3+0$

The forecasted value of 1.84 k is twice the observed value of 0.925 k; however, the model was highly significant for forecasting the generation of NRSW. The low value of R^2 in the models that were tested indicates, as is the case for RSW models, that the proposed variables for the forecasting of generation are yet of limited value to explain the total variability of the data.

One possible explanation for this inadequacy of the forecasting models is that the number of samples in the analyzed database, despite being statistically significant, does not reflect the total variation of the population studied. In order to improve the forecasting capability of the models, the samples must be expanded to a larger number of sources. It is important to include additional socioeconomic variables, such as sales volume. This latter variable is instrumental to assess the real dimension of the economic activity of the sources. Indeed, the size of the facility and the number of employees may be underestimating the degree of economic activity of the source. However, data regarding total sales volume is troublesome to obtain.

The database analyzed in this paper must be regarded as an initial approach to assess the real composition of USW in urban areas that may be similar to that described here, and of the variables that may be affecting their generation.

CONCLUSIONS

Adoption of adequate management measures to couple with the environmental and public health impact caused by the inadequate refusal of increasing urban waste is urgent. The analyses of waste composition and that of the socioeconomic variables influencing their generation enable the forecast of their quantity and composition, and are useful for planning their adequate management.

Likewise, the models forecasting solid waste generation are useful analytic tools in the design of management programs. In the international range, a number of models have been proposed which are based on the analysis of several statistics and socioeconomic variables. These models have shown to be efficient for the forecasting of solid waste generation in developed countries. However, the applicability of these models is troublesome because of their theoretical complexity, as well as the large data requirements. Nevertheless, the use of generation rates and of linear regressions provide with efficient statistical instruments to explain and forecast the generation of solid waste, based on data which are obtained through relatively simple sampling designs, and at a low cost.

Such tools are used in this study, attempting to assess their efficiency for the explanation and forecasting capability in a case study in Mexico. This approach may be extrapolated to similar cases in other cities in the developing countries. Despite that the models proposed by this study are regarded as an initial approximation to the explanation of these processes, they do offer an alternative with analytical value.

Our results indicate that, in Morelia, the generation of residential waste differs significantly from that of non-residential sources. In the case of the former, the variables, which were found useful for forecasting the generation of waste, were income and density of dwellers per household; for the latter sources, the useful variable was the number of daily working hours. However, the analysis of these sources is made difficult by the restrictions imposed by the environmental legislation and policies. In order to improve the forecasting models it is necessary to expand the sampling to a larger number of sources. It should be highlighted that the low number of samples analyzed here obeyed to the limited level of participation of the sources. Because of this, it is necessary to precede the sampling with environmental education programs related to the objectives of the analyses of generation of solid waste. To this end, the different social sectors involved in solid waste generation must work in coordination with governmental agencies, chambers of commerce, of services and industries. Emphasis must be made on the confidentiality and professionalism with which the volunteered information will be utilized.

ACKNOWLEDGMENTS

Research on which the paper is based was granted by Conacyt through a doctoral scholarship to the first author.

REFERENCES

1. Bowen, M.; Kontuly, T.; Hepner, G. Estimating maquiladora hazardous waste generation on the U.S./ Mexico border. Environm. Aud. 1995, 19(2), 281-296.
2. Hockett, D.; Lober, D.J.; Pilgrim, K. Determinants of per capita municipal solid waste generation in the southeastern United States. J. Environm. Manag. 1995, 45, 205-217.
3. Richardson, G.M.; Whitney, J.B. Goats and garbage in Khartoum, Sudan: A study of the urban ecology of animal keeping. Hum. Ecol. 1995, 23(4), 455-475.
4. Leff, E. Ecología y Capital: Racionalidad Ambiental, Democracia Participativa y Desarrollo Sustentable (Ecology and Capital: Ambient Rationality, Participating Democracy and Sustainable Development); Siglo XXI-UNAM: Mexico City, 1994; pÿ 437.
5. Ali Khan M.Z.; Burney F.A. Forecasting solid waste composition- An important consideration in resource recovery and recycling. Resour. Conserv. 1989, 3, 1-17.
6. Matsuto, T.; Ham, R.K. Residential solid waste generation and recycling in the U.S.A. and Japan. Waste Manage. Res. 1990, 8, 229-242.
7. McBean E.A.; Fortin M.H. A forecast model of refuse tonnage with recapture and uncertainty bounds. Waste Manage. Res. 1993, 11, 373-385.
8. Bruner, H. P.; Ernst, R.W. Alternative methods for the analysis of municipal solid waste. Waste Manage. Res. 1986, 4, 147-160.
9. Rushbrook, P.E.; Finnecy, E.E. Planning for future waste management operations in developing countries. Waste Manage. Res. 1988, 6(1), 1-21.
10. Cailas, D.M.; Kerzee, G.R.; Bing-Canar, J. An indicator of solid waste generation potential for Illinois using principal components analysis and geographic information systems. J. Air & Waste Manage. Assoc. 1996, 46, 414-421.
11. Arey, M.J.; Baetz, B.W.; Macdonald, P.D.M.; Byer, P.H. Use of mixed probability distributions for the analysis of solid waste generation data. Waste Manage. Res. 1993, 11, 387-402.
12. Ni-Bin C.; Pan Y.C.; Sen-Der H. Time series forecasting of solid waste generation. J. Res. Manage. Tech. 1993, 21(1), 1-10.
13. Adedibu A.A. A comparative analysis of solid waste composition and generation in two cities of a developing nation. The Environmentalist. 1985, 5(2), 123-127.
14. Buenrostro, D.O.; Bocco, V.G.; Bernache, P.G. Urban solid waste generation in developing countries. 1999b, Manuscript submitted to Waste Manage. Res.
15. Buenrostro, D.O.; Bocco, V.G.; Cram, H.S.; Garza, C.J. Classification and assessment of municipal solid wastes and sources in developing countries 1999a, Manuscript submitted to Resour. Conserv.
16. United Nations. Indexes to the International Standard Industrial Classification of All Economic Activities; United Nations statistical papers, Series M, No. 4, Rev. 2, Add. 1. United Nations Publication, New York; 1971.

17. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. Resultados Definitivos, Tabulados Básicos (XI Census of population and housing 1990), Mexico, 1991, pÿ 2384.
18. Mendenhall, W.; Scheaffer, L.R.; Wackerly, D.D. Mathematical Statistics with Applications. PWS Publishers, USA, 1986; pÿ 751.
19. Statistical Analysis System Institute Inc. SAS/IML® Software: User's Guide, Release 6.03 Edition: Cary, NC, 1988.
20. Statistical Analysis System Institute Inc. SAS/IML® Software: Usage and Reference, Version 6, First Edition: Cary, NC, 1989.
21. Statistical Analysis System Institute Inc. SAS/GRAPH® Software: Usage, Version 6, First Edition: Cary, NC, 1991.
22. Buenrostro, D.O.; Bernache, P.G.; Cram, H.S.; Bocco, V.G. Análisis de la generación de los residuos sólidos en los mercados de Morelia (Solid waste generation analysis in markets of Morelia). REV. INT. CONTAM AMBIENT. 1999c, 15(1), 27-32.
23. Heinen, J.T. A Review of, and research suggestions for, solid-waste management issues: The predicted role of incentives in promoting conservation behavior. Environm. Conserv. 1995, 22(2), 157-166.
24. Makridakis, S.; Wheelwright, S.C.; McGee, V.E. Forecasting: Methods and Applications. Wiley, New York, 1983.

About the Authors

Otoniel Buenrostro (corresponding author) is a Ph.D. candidate in biology at the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). His address is Terraza del sol No. 61, Fraccionamiento Terrazas del Campestre, C.P. 58296, Morelia, Michoacán, México, tel and fax (4) 3243290. E-mail otonielb@zeus.ccu.umich.mx. Gerardo Bocco is a senior researcher at the Departamento de Ecología de los Recursos Naturales (DERN), Instituto de Ecología, UNAM, Campus Morelia, in charge of the laboratory of geoecology. His address is Apartado Postal 27-3 (Xangari), 58089, Morelia, Michoacán, México. Javier Vence is an assistant professor in Statistics at the Centro Regional Universitario Centro Occidente, UACH. His address is Periférico Independencia Poniente No. 1000. Colonia Lomas del Valle, Morelia, Michoacán, México.

Table 1. Potentially explaining the generation of USW in Morelia

Variable	Description
Independent variables	
Residential sources	
X_1	Income: Total monthly income per household (US$).
X_2	Density: Total number of dwellers per household.
X_3	Age: Average age of heads of households (years).
X_4	Educational level: Average number of years in an educational institution attended by the heads of the households.
Non-residential sources	
X'_1	Employees: The number of workers employed by business.
X'_2	Area: The total area in square meters occupied by the facilities in which economic activity takes place.
X'_3	Hours: The total number of daily working hours.
X'_4	Days: The total number of working weekdays.
Dependent variables:	
Y	RSW: The SW generated in households.
Y'	NRSW: The SW generated in the industrial, commercial, institutional-services, and special sectors.

Table 2. Per source total generation and percent rates of generation of SW

Source	Total (ton wet weight)	Total (%-wet weight)
Residential	321	87.4
Non-residential	46.2	12.6
Commerce	6.2	1.7
Markets	17.4	4.8
Informal commerce	14	3.8
Institutions/Services	1.2	0.3
Industry	3.8	1
Special	3.6	1
Total	367.2	100

Table 3. Generation rates in Morelia per source (k day^{-1} and % of wet weight)

Component	Commerce 10,346 sources		Inst. Serv. 1,421 sources		Industry 2,437 sources		Special 5,121 sources		Residential 123,307 households	
	k	%	k	%	k	%	k	%	k	%
Cotton	0	0	0	0	0	0	0.768	0.02	106.04	0.04
Cardboard	193.47	4.39	0	0	48.74	1.1	222.14	7.13	7210.99	2.36
Leather	0	0	0	0	0	0	0	0	212.08	0.07
Fine residue*	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.00
Waxed-cardboard	57.73	1.31	4.73	0.96	0	0	0	0	2704.12	0.84
Hard plant fiber	0	0	0	0	0	0	2.40	0.07	1166.48	0.37
Synthetic fiber	0	0	0.93	0.19	0	0	16.18	0.51	477.19	0.16
Bone	0	0	0	0	0	0	0	0	2545.05	0.81
Rubber	3.0	0.06	0	0	1502.65	33.92	98.83	3.17	265.11	0.09
Ceramic and shreds	0	0	0	0	0	0	249.90	8.02	1643.68	0.56
Wood	17.58	0.39	0	0	2558.85	57.76	92.28	2.96	1749.72	0.66
Building material	0	0	0	0	0	0	23.86	0.76	265.11	0.11
Non ferrous material	1.13	0.02	1.64	0.33	0	0	57.45	1.84	1219.50	0.38
Ferrous material	94.25	2.14	0	0	0	0	137.24	4.4	4400.82	1.46
Paper	344.41	7.82	19.65	3.99	284.71	6.42	201.66	6.47	23965.94	7.62
Diapers	0	0	0	0	0	0	0	0	23382.70	8.12
Feminine towel	0	0	0	0	0	0	0	0	424.17	0.13
Feces	0	0	0	0	0	0	101.65	3.26	689.28	0.24
Plastic film[1]	264.02	5.99	80.04	16.28	4.04	0.09	125.41	4.02	11240.66	3.77
Rigid plastic[2]	206.29	4.68	81.22	16.52	0	0	185.89	5.97	12035.99	3.91
Rubber foam[3]	0	0	0	0	0	0	1.68	0.05	106.04	0.04
Dry ice[4]	15.20	0.34	3.55	0.72	0	0	10.24	0.32	901.37	0.29
Polypropylene	12.72	0.28	7.10	1.44	0	0	5.68	0.18	848.35	0.28
Food waste	2175.76	49.42	118.41	24.09	6.09	0.13	466.57	14.99	158853.94	50.95
Yard waste	0	0	0	0	20.30	0.45	12.75	0.4	16595.88	4.86
Cloth	37.03	0.84	131.44	26.74	0	0	33.23	1.06	5090.11	1.81
Stained glass	0	0	0	0	0	0	81.11	2.6	583.24	0.20
Unstained glass	322.48	7.32	35.52	7.22	0	0	291.58	9.36	13838.74	4.46
Batteries	0	0	0	0	0	0	26.98	0.86	159.06	0.06
Dust	547.71	12.44	7.10	1.44	4.04	0.09	658.56	21.15	12937.37	4.78
Other**	108.83	2.47	0	0	0	0	8.19	0.26	1484.61	0.51
Generation per day	6199.32		1182.27		3800.98		3633.3		307,034.4	

*This item is recorded as zero, because the fine residue remaining after composition analysis was quantified as dust, due to the abundance of the latter in the refuse.

**This item includes, cellophane, aluminum foil, electrical material, cigarette butts, modeling clay, and shoes.

[1] Plastic skinny and flexible. Includes junk-food bags, low density polyethylene; also laminated plastic, which includes laminated tubes that are utilized for packing toothpaste and other similar products.

[2] Includes polyethylene thereftalathe, high-density polyethylene, polyvinyl chloride.

[3] It refers to polyurethane.

[4] It means polystyrene.

Table 4. Composition of refuse in markets (t day^{-1} wet weight)

Category	Total generation (t)	Average (%)
VOM	13.79	79.22
AOM	0.67	3.80
Plastic	0.55	3.18
Mixed paper	1.66	9.54
Glass	0.29	1.62
Ferrous metal	0.12	0.7
Non ferrous metal	0.10	0.06
Textiles	0.16	0.90
Waxed-cardboard	0.18	0.10
Other*	0.13	0.78

Including * grit fines plus stone, ceramic and other items no categorized above.

Table 5. Regression correlation coefficients (R^2) between the independent variables of residential sources

Independent Variables	Income	Density	Age	Education
Income	1			
Density	0.0016	1		
Age	0.055	0.0033	1	
Education	0.300	0.0031	0.023	1

Note: The database of the socioeconomic variables included 243 records.

Table 6. Regression correlation coefficients (R^2) between the independent variables of non-residential sources

Independent Variables	Employees	Area	Hours	Days
Employees	1			
Area	0.050	1		
Hours	0.057	0.0038	1	
Days	0.00069	0.084	0.195	1

Note: The database of the socioeconomic variables included 32 records.

Table 7. Residential sources: ANOVA of the MLR of variables X_1 (income) and X_2 (density)

Source of variation	DF	Sum of squares	Mean square	F value	Pr>F
Model	2	50.63	25.31	9.82	0.0001**
Error	240	618.47	2.57		
Corrected total	242	669.10			
R^2=0.075	C.V.=64.83	Root MSE=1.60			GEN Mean=2.47k
Coefficient of regression	Estimated value		T for HO: Parameter =0	Pr>|T|	Standard error of estimate
β_0	1.02		3.00	0.0030**	0.34277
β_1	0.000072		2.48	0.0138*	0.000029
β_2	0.236		3.77	0.0002**	0.06269

* Significant ** Highly significant

Table 8. Values of t from the test for the independence hypotheses (Ho:ρ=0 vs Ha: $\rho\neq0$) among explanatory variables (n-2 degrees of freedom, α=0.05)

Compared variables	Standard value of t	Estimated value of t
Residential Sources:		
Density vs Income	1.96	-0.627*
Age vs Income	1.96	3.76^{NS}
Education vs Income	1.96	10.17^{NS}
Age vs Density	1.96	0.911^{*}
Education vs Density	1.96	-1.76^{*}
Education vs Age	1.96	2.39^{NS}
Non-residential sources:		
Area vs Employees	2.04	-1.26*
Hours vs Employees	2.04	1.34*
Days vs Employees	2.04	0.144*
Hours vs Area	2.04	0.341*
Days vs Area	2.04	-0.623*
Days vs Hours	2.04	0.845*

Note: ^{NS}: not significant ⇒ Ho is rejected.∴not independent

*: Significant⇒Ho is not rejected.∴independent

Table 9. Non-residential sources: ANOVA of the MLR of variables X'_3 (hours) and X'_4 (days)

Source of variation	DF	Sum of squares	Mean square	F value	Pr>F
Model	2	370,8165.6	1,854,082.8	3.14	0.05*
Error	29	17,141,444.3	591,084.2		
Corrected total	31	20,849,610			
R^2=0.177	C.V.=97.44	Root MSE=768.8			GEN Mean=789g
Coefficient of regression	Estimated value		T for HO: Parameter =0	Pr>|T|	Standard error of estimate
β'_0	2,517.32		1.27	0.21^{NS}	1,978.5
β'_3	192.17		2.43	0.02*	79.10
β'_4	-567.67		-1.62	0.11^{NS}	350.01

* Significant ^{NS} Not significant

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

6 ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS MERCADOS MUNICIPALES DE MORELIA

(SOLID WASTE GENERATION IN MARKETS OF MORELIA)

REVista INTernacional de CONTAMinación AMBIENTal 15 (1) 27-32, 1999

Rev. Int. Contam. Ambient. *15* (1) 27-32, 1999

ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS MERCADOS MUNICIPALES DE MORELIA, MÉXICO

Otoniel BUENROSTRO[1], Gerardo BERNACHE[2], Silke CRAM[3] y Gerardo BOCCO[1]

[1]Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, UNAM, Campus Morelia, Apartado Postal 27-3 (Xangari), Morelia 58089 Michoacán, México
[2]CIESAS de Occidente, Avenida España 1359. Colonia Moderna, Guadalajara 44190, Jalisco
[3]Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán 04510 D.F., México

(Recibido diciembre 1997, aceptado noviembre 1998)

Palabras clave: generación, residuos sólidos, mercados municipales

RESUMEN

En México, la carencia de datos confiables y sistemáticos sobre generación de residuos sólidos (RS), de las diferentes fuentes generadoras que intervienen a nivel municipal es uno de los principales obstáculos para su manejo y disposición adecuados. En la actualidad, a pesar del cambio en los hábitos de consumo y de comercialización entre la población mexicana, los mercados municipales y los tianguis continúan ocupando un lugar predominante en el comercio de bienes y por ende, como generadores de RS. Debido a ello, este proyecto se llevó a cabo con el objeto de caracterizar y cuantificar los RS generados en estos sitios. Se efectuó un análisis de la generación de RS en 6 mercados de la ciudad de Morelia, Michoacán, los cuales se muestrearon por un periodo de 7 días. También se aplicó una encuesta con objeto de determinar la cantidad de locatarios y de giros comerciales, así como estimar la generación total de RS por mercado y por giro comercial. Los resultados de la caracterización de subproductos indican el 83 % de residuos orgánicos, el restante 17 % lo ocupan el papel, el cartón, el plástico, el vidrio y los metales, que son materiales reciclables.

ABSTRACT

The lack of information about municipal waste generation, is one of the principal problems for the development of waste management programs in Mexico. Although there is a change in consumption and comercialization habits in mexican population, the markets and tianguis are still important in the trade of goods, and therefore important generators of municipal solid waste. This project was carried out to analize the solid waste generation of 6 markets of the city of Morelia, in the state of Michoacan. The collection of samples was made for seven days and a survey was made to know the number of commerces and their activities. An evaluation of the total generation of solid waste by market and commerce was made too. The by-product analysis indicates a generation of 83 % organic matter and the remaining 17 % was made up by paper, plastic, glass and metals, which are reciclable materials.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento industrial que ha experimentado el país durante los últimos 50 años ha facilitado los procesos de urbanización, además de cambios en los hábitos de consumo. Ello se ha reflejado en mayor producción de residuos sólidos (RS) municipales, industriales y especiales(SEDESOL/INE 1994) y por ende en un mayor impacto ecológico sobre el ambiente.

De acuerdo con diversas estimaciones, la generación de residuos sólidos municipales (RSM) aumentó en el país de 0.3 kg/día/habitante, al principio de los años 50, a 0.64 kg/día/habitante en la década de los noventa (SEDESOL/INE 1994).

Existe sin embargo gran disparidad en los datos básicos que se manejan, pues no hay información fidedigna que tenga una base en estudios locales (Restrepo *et al.* 1991).

Por otro lado la población se incrementó en el mismo periodo de 30 a alrededor de 92.5 millones de habitantes (INEGI 1996) lo que significa el aumento en la generación de aproximadamente 9,000 t por día en la década de los 50 a 60,000 t en la actualidad. Asimismo la composición ha variado mucho, de 95 % de material biodegradable a 60 % en la actualidad (SEDESOL/INE 1994).

La ciudad de Morelia, Michoacán, sigue el patrón general y

ha experimentado el aumento notable en la generación de residuos sólidos urbanos (RSU). De acuerdo con estadísticas de la Dirección de Aseo Público de la ciudad, se ha registrado un incremento en la producción de RSU de alrededor del 150 % en tan sólo una década. Sin embargo, estos datos se han obtenido en forma estimativa, ya que se proporcionan con objetivos presupuestales y políticos más que técnicos y de planeación.

Los mercados son una fuente generadora muy importante de RSU. En México, estos sitios han prevalecido desde la época precolombina y en la actualidad, a pesar del cambio en los hábitos de consumo y de comercialización entre la población mexicana, continúan ocupando un lugar predominante en el comercio de bienes. De hecho, los mercados y los tianguis han aumentado considerablemente en la ciudad siendo fuente de empleo temporal y por ende como generadores de residuos sólidos. Bernache (1995), reporta una contribución del 9 % de residuos sólidos de mercados en los RSM de la ciudad de Guadalajara (Jalisco). De acuerdo con la regionalización de SEDESOL, Morelia y Guadalajara se ubican dentro de una misma región en cuanto al patrón de generación de residuos sólidos (CONADE 1992).

En Morelia se tiene registrados seis mercados establecidos y diez tianguis que se ubican en diferentes puntos de la ciudad a lo largo de la semana. No se tiene un padrón de locatarios confiable, ni un sistema de organización para dar seguimiento a los movimientos administrativos de cada locatario, que permita la actualización inmediata del padrón para un control real y efectivo de los mismos.

Debido a la predominancia de productos perecederos (carnes, frutas, vegetales) que se comercializan en los mercados y en los tianguis, los RS que se generan son en su mayor parte orgánicos y por ello, muy susceptibles a la descomposición bacteriana, por lo que su recolección y disposición se debe de efectuar con celeridad y de ser posible en el mismo día en que se generan. En la actualidad se tienen serios problemas para el manejo y la disposición adecuada de los RS que se producen en los mercados y tianguis. Ello repercute en proliferación de fauna nociva, malos olores, detrimento de la imagen urbana y el consecuente deterioro de la calidad de vida y del ambiente dentro y alrededor de estos sitios. Existe por lo tanto una gran demanda social para el mejoramiento de la imagen urbana, así como una negativa generalizada de la población para el establecimiento de los tianguis en sus áreas. Ello a pesar de la necesidad de adquirir los productos que se expenden en estos sitios.

En este contexto, la carencia de datos confiables y sistemáticos sobre producción de RS en las diferentes fuentes generadoras que intervienen a nivel municipal es uno de los principales obstáculos en la planeación adecuada para el manejo de este tipo de residuos. Hockett *et al.* (1995), analizaron la influencia de variables que influyen en la generación de RSU, como densidad, ingreso per capita, edad, sexo, raza, tamaño de la vivienda, porcentaje de población urbana, clima, pero son aspectos en los que se requiere más investigación. Por ello este trabajo tiene por objetivo caracterizar y cuantificar los RS que se producen en los mercados municipales de la ciudad de Morelia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se caracterizó y cuantificó la generación de residuos sólidos en 6 mercados de la ciudad de Morelia. Los pasos metodológicos se describen en la **figura 1** y se examinan a continuación.

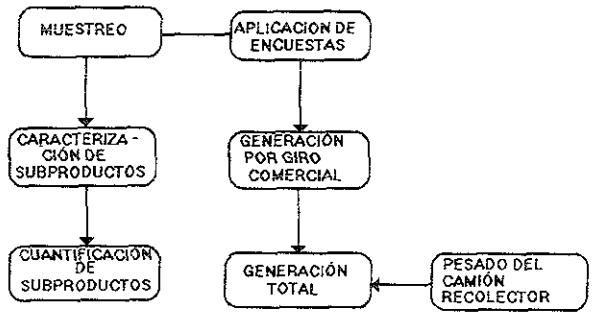


Fig. 1. Flujograma sobre la caracterización y la cuantificación de residuos sólidos en los mercados municipales de Morelia, Michoacán

Caracterización y cuantificación de subproductos

La caracterización y cuantificación de subproductos se efectuó durante una semana continua en los 6 mercados establecidos en la ciudad (**Fig. 2**). El mercado Revolución y Nicolás Bravo se encuentran localizados en el primer cuadro de la ciudad (zona centro), los mercados Vasco de Quiroga, Independencia y Benito Juárez se encuentran localizados en el segundo cuadro. El mercado de Abastos; de reciente construcción (finales de la década de los 80), se localiza en la periferia (noreste de la ciudad). El crecimiento poblacional experimentado en los últimos años ha propiciado el establecimiento de nuevas colonias en los alrededores de este último.

Para el caso de los 6 mercados, en el momento en que fueron construidos se hizo sobre áreas periféricas de la ciudad, cuyos terrenos tenían poca plusvalía y con población predominante de ingreso económico bajo. La dotación de servicios municipales y la afluencia de personas a estos sitios, trajo consigo un aumento en la plusvalía de los terrenos circundantes y el establecimiento de negocios de todo tipo, sobre todo del ramo alimenticio. Ello hace que en la actualidad el nivel socioeconómico de las zonas aledañas a los mercados se encuentre muy polarizado, aunque predomina el nivel de ingreso medio.

Las muestras se tomaron directamente del sitio en que se disponen temporalmente todos los RS generados (depósitos) para su traslado al sitio de disposición final. Para la toma de muestras se siguió un padrón previamente establecido, en el cual se incluyó las cuatro esquinas y la parte media del depósito. Las muestras se tomaron con palas y fueron colocadas en bolsas de polietileno de 0.70 m x 0.50 m y calibre No.200, hasta llenar la cantidad de tres.

Se determinó el peso volumétrico de los residuos, de acuerdo con la norma NOM-AA-19-1985 (SECOFI 1985). El muestreo se realizó antes del paso del camión recolector, entre las 7 y las 8 horas en que se observó la mayor acumulación de los residuos

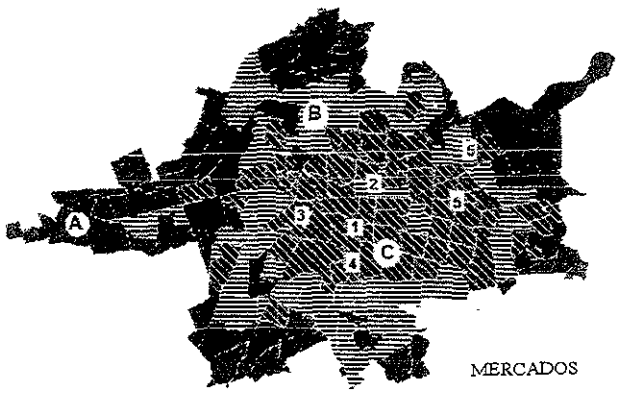


Fig. 2. Localización de los mercados analizados (mapa tomado de INEGI *1996*)

generados durante el día anterior (además, a esa hora, se inician las actividades de comercialización, por ello los residuos que se generan en el transcurso del día se depositan más tarde).

La caracterización de subproductos se realizó por separación manual. Los subproductos ya clasificados se pesaron y se anotó el resultado en una hoja de registro. Siguiendo el formato de registro de subproductos de la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-22-1985 de residuos sólidos municipales, selección y cuantificación de subproductos (SECOFI, 1985). La adecuación del formato se realizó de acuerdo con la predominancia del tipo de residuos que se encontraron, ya que algunos de los rubros contemplados en este formato de registro de la norma estuvieron ausentes o las cantidades encontradas fueron mínimas (**Tabla I**).

Ya que la mayor parte de los productos que se comercializan en estos sitios son perecederos, los residuos generados son predominantemente de este tipo. En materia orgánica agrícola se consideró a todos los residuos de origen vegetal (residuos de frutas, vegetales, legumbres, madera, etc.) y en materia orgánica pecuaria a todos los residuos de origen animal (plumas, vísceras, hueso, excretas, cuero, etc.)

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calculó con la siguiente formula:

$$PS = \frac{GL}{G}(100)$$

donde:

PS= porcentaje de subproducto considerado

GL= peso de subproducto considerado en kilogramos

G = peso total de la muestra

El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes debió ser superior al 98 % del total de la muestra, en caso contrario se repitió la determinación.

Determinación de generación total

La determinación de este parámetro, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM)*, especifica que se puede obtener adecuando el procedimiento descrito para residuos domésticos, siempre que sea posible determinar confiablemente el tamaño de la premuestra. La misma norma especifica que al no poder determinar la generación de estos residuos conforme a un muestreo, se precisará entonces a partir de un balance de materia, del proceso o giro de que se trate. Para tal situación se deberán conocer las fronteras del sistema y las actividades que cruzan u ocurren dentro del mismo, así como la generación de RS asociada con estas actividades.

Las dos opciones anteriores no se pudieron aplicar, dado que no se contó con un padrón de locatarios, ni de giros comerciales de los mercados de la ciudad. Sobre esta base se decidió primeramente aplicar una encuesta a los locatarios de los seis mercados analizados, para obtener un padrón de locatarios y de giros comerciales y determinar la generación total de residuos,

* NOM-AA-61-1985-Residuos sólidos municipales-Determinación de la generacion (SECOFI 1995)

TABLA I. CARACTERIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS (%) EN PESO

Mercado Tipo de residuo	Independencia	Revolución	Nicolás Bravo	Benito Juárez	Vasco de Quiroga	Abastos	Promedio por subproductos
M.O. agrícola	77.24	81.89	75 63	70 59	85.39	84.59	79 22
M.O. pecuaria	3.18	5.32	6.72	2.38	4.23	1.01	3 80
Plásticos	3.37	2.45	3 26	5.16	2.20	2.66	3.18
Papel y cartón	10.30	7.75	10.52	12.47	6.37	9.83	9.54
Vidrio	1.82	0.65	1.04	4.24	0.60	1.41	1.62
Metal ferroso	1.03	0.56	1.22	0.80	0.40	0.19	0.70
Trapo	1.45	0.45	1.17	1.77	0.57	0.04	0.90
Papel encerado	0.32	0.20	0.04	0.09	0.00	0.00	0.10
Metal no ferroso	0.05	0.03	0.11	0.12	0.06	0.00	0.06
Otros (Piedra, tierra, loza)	1.12	0.66	0.26	2.33	0.13	0.23	0.78

M.O., materia orgánica

con base en lo especificado por la NOM.

El segundo paso consistía en efectuar el muestreo, pero los locatarios se rehusaron a proporcionar los residuos generados por ellos, por lo tanto se decidió pesar el camión con el total de residuos generados en cada uno de los mercados.

a. Encuesta

Se aplicó un total de 1546 encuestas en los 6 mercados analizados. Ello incluyó al total de locatarios establecidos permanentemente y a los semiestablecidos (sólo se establecen 2 ó 3 días de la semana en los que la actividad comercial es mayor).

La encuesta constó de 14 preguntas sobre infraestructura, generación de residuos, giro comercial, ubicación, días laborables. Específicamente incluyó dos preguntas respecto a la cantidad y tipo de residuos que los locatarios estimaban producir por día. Los datos se anotaron en un formato de encuesta preparado para cada locatario y se ordenaron en hojas de registro por mercado y giro comercial.

b. Pesado del camión recolector

El camión recolector con la totalidad de los residuos generados se pesó diariamente durante una semana (este fue el tiempo máximo de desvío del camión de su ruta para su pesado en una báscula pública que permitió la Dirección de Aseo Público de la ciudad). Se calculó la generación diaria, sumando el total de los residuos generados durante la semana y se dividió el total entre siete. Este método sólo se realizó en tres mercados.

RESULTADOS

Caracterización y cuantificación de subproductos

La selección del horario y la forma de muestrear en los depósitos generales obedeció principalmente a que la generación de residuos en los mercados es muy dinámica y no existe ningún control en el acceso a estos sitios, además la naturaleza de los residuos que se generan es de fácil descomposición

La determinación del peso volumétrico en el sitio dió un promedio de 760 kg de residuos sólidos por m^3. La materia orgánica de origen agrícola ocupó el primer lugar en monto, seguido por el papel y el cartón. Si se agrupan todos los rubros de materia orgánica biodegradable, ésta ocupa alrededor del 93 %. El resto lo ocupa el plástico, vidrio y metales, materiales totalmente reciclables (**Tabla I**). Rabanni *et al.* (1983), recomiendan un contenido promedio de materia orgánica de 50 a 60 % en los residuos para que sean susceptibles de ser sometidos a un proceso de composteo. Los promedios de materia orgánica que se obtuvieron del análisis de generación en los mercados de Morelia, resultan óptimos para un proceso de este tipo, ya que la separación de subproductos de origen inorgánico se reduce a 10-20 %. De acuerdo con Richardson y Whitney (1995), ello repercute positivamente en la disminución de los costos de operación de un proceso de disposición final de los residuos sólidos alterno al relleno sanitario.

TABLA II. TOTAL DE LOCATARIOS Y UBICACIÓN EN LOS MERCADOS

Mercado	Locatarios	Exterior	Interior
Independencia	514	178	336
Revolucion	436	118	318
Nicolás Bravo	143	8	135
Benito Juárez	144	55	89
Vasco de Quiroga	49	9	40
Abastos	260	0	260
Total	1546	368	1178

Determinación de generación total

a. Encuesta

De la aplicación de la encuesta se obtuvo un total de 1546 locatarios en los 6 mercados analizados (**Tabla II**) y aunque el objetivo inicial fue obtener un padrón de locatarios para analizar la generación de residuos en estos sitios, se lograron de ella resultados interesantes sobre el perfil socio-económico de cada uno de los mercados. Se pudo constatar el nivel socio-económico de los locatarios por el tipo y el tamaño de los locales. En el mercado de abastos la totalidad de los locatarios son comerciantes establecidos, la mayor parte de ellos pequeños empresarios que se dedican a la venta por mayoreo de uno o pocos productos a los comerciantes que a su vez los comercializan al menudeo en los otros mercados y tianguis. En este mercado se determinó la mayor generación de residuos y a pesar de ello hasta el momento de este estudio no contaban con un depósito general para la deposición de los residuos.

Se observó también que la mayoría de los comerciantes que se establecen en los exteriores de los mercados son personas de muy bajos recursos que comercializan sus productos, predominantemente frutas y vegetales dos o tres días a la semana. Estos no cuentan con un local, ni mucho menos con recipientes adecuados para depositar los residuos generados por ellos, por lo que los depositan directamente en el suelo. Algunos pocos los recojen al terminar sus actividades, pero en su gran mayoría los abandonan hasta que el servicio de limpieza del mercado los recolecta. Por lo general esta actividad se lleva a cabo hasta el día siguiente, lo que ocasiona malestar entre la población circundante a estos sitios.

Se detectaron 31 giros comerciales distintos. La generación diaria de residuos sólidos por giro comercial se calculó a pregunta expresa a cada uno de los locatarios entrevistados. La mayor generación de residuos predominó en 6 giros comerciales, por ello los restantes se agruparon en el rubro de «otros giros» (**Tabla III**). Los giros comerciales de verduras, frutas, carnicerías y pescaderías son los que generan mayor cantidad de residuos, por el hecho de que la mayor parte de la actividad comercial en los mercados se basa en estos bienes. En ciertos mercados predomina más, un giro comercial con respecto a otro (**Tabla IV**).

Con respecto a la cuantificación de residuos, se puede observar que lo contestado por los locatarios está subestimado hasta en más de un 30%, en comparación con los resultados obtenidos por el método de pesado del camión (**Tabla V**). Ello se puede atribuir a que la mayoría de los locatarios vacilaba en

TABLA III. RESIDUOS GENERADOS POR GIRO COMERCIAL kg/DIA

Giro comercial	Independencia	Revolución	Nicolás Bravo	Benito Juárez	Vasco de Quiroga	Abastos
Verduras	393	1089	177	178	21	2086
Frutas	407	838	74	67	0	2774
Comidas	238	141	38	38	22	41
Jugos y licuados	130	107	46	10	21	0
Frutas y verduras	47	81	90	124	101	113
Carnicerías y pescaderías	125	286	30	77	17	0
Otros giros	695	406	45	82	85	221
Generación total	2035	2948	500	577	267	5235

esta pregunta; los argumentos a esta negativa por parte de los locatarios fueron básicamente temor a aumento de impuestos, que se piense que son más sucios y con ello, que se les suspenda la concesión de su permiso. Rathje y Murphy (1992), reportan casos similares sobre la percepción del público en encuestas practicadas por ellos.

Por otro lado el promedio de generación puede variar, ya que está determinado por la época del año, pues la variedad de productos que se comercializan en los mercados es de ciclo estacional. El monto de residuos variará de acuerdo a la proporción aprovechable del producto que se expende y del monto de ventas totales de estos productos.

b. Pesado del camión recolector

El pesado del camión recolector sólo se efectuó en tres mercados: Independencia, Revolución y Nicolás Bravo (**Tabla V**), ya que los mercados Benito Juárez y Abastos no cuentan con un depósito general para colocar los residuos. Estos mercados sólo tienen contenedores fuera de las instalaciones y se usan también para ubicar los residuos domiciliarios. Fue similar el problema que se presentó en el mercado Vasco de Quiroga, ya que a pesar de que sí cuenta con un depósito general, la cantidad de residuos que se generan diariamente no alcanza a saturar la capacidad del camión recolector que cubre esa ruta y entonces los mezclan con residuos domiciliarios.

DISCUSIÓN

Los residuos que se generan en los mercados son predominantemente de tipo orgánico y suman alrededor del 83 %. Papel y cartón representan alrededor del 10 % del total y contienen alta proporción de humedad (Buenrostro *et al.* 1999). Los subproductos restantes, en su conjunto alcanzan el 7 %. El análisis de la generación total indica que se produce una cantidad apreciable de residuos sólidos, pues si se hace una extrapolación para los tres mercados en donde no se pesó el total de los residuos, con base en un 30 % que fue el promedio de variación en lo estimado por los locatarios y lo obtenido por el método de pesado, la generación total para los 6 sitios analizados se estima en alrededor de 15,000 kg por día. Los residuos derivados de las actividades de comercialización y de consumo en estos sitios constituirán un problema ambiental de no disponerse adecuadamente. Los resultados del estudio indican contenidos de materia orgánica ostensiblemente altos como para iniciar un programa de reciclaje de estos residuos con base en el composteo, a un costo económico sensiblemente bajo en comparación con otras alternativas de disposición (Buenrostro 1999).

Sobre la selección del proceso de tratamiento de los residuos orgánicos o de disposición final tendrá que tomarse en cuenta que los residuos de los mercados tienen un alto contenido de agua además de que, como ya se mencionó, el promedio de generación puede variar, puesto que está determinado por la época del año, pues los bienes que se comercializan en estos sitios son de ciclo estacional. Asimismo el monto de residuos variará de acuerdo con el porcentaje aprovechable de los productos que se expenden y por el monto total de ventas.

Resultó conveniente adecuar el formato de registro de subproductos incluido en la NOM, ya que la gran mayoría de los contemplados en esta última no se encontraron en la caracterización de los RS de los mercados.

TABLA IV. PORCENTAJE DE GIROS COMERCIALES EN LOS MERCADOS ANALIZADOS

Giro comercial	Independencia	Revolución	Nicolás Bravo	Benito Juárez	Vasco de Quiroga	Abastos
Verduras	19.31	36.43	35.47	32.40	7.83	39.79
Frutas	20.01	28.03	14.73	12.19	0.00	52.96
Comidas	11.67	4.70	7.56	7.00	8.41	0.78
Jugos y licuados	6.38	3.57	9.20	1.91	7.83	0.00
Frutas y verduras	2.32	2.70	18 01	22.57	38.61	2 15
Carnicerías y pescaderías	6.12	9.57	5.90	14.01	6 44	0 00
Otros giros	34 16	14 95	9 10	9.87	30.85	4 35

TABLA V. CANTIDAD DE RESIDUOS ESTIMADA POR DIA (kg) SEGÚN LA ENCUESTA Y EL PESADO DEL CAMIÓN

Mercado	Encuesta	Pesado del camión
Independencia	2035	3579
Revolución	2948	3176
Nicolas Bravo	500	1170
Benito Juárez	577	no se pesó
Vasco de Quiroga	267	no se pesó
Abastos	5235	no se pesó
Total	11562	7925

La metodología implementada en esta investigación fue a raíz de una adecuación de la NOM-AA-61-1985 (SECOFI 1985) que se basa principalmente en el estudio de residuos domésticos, por lo que el presente trabajo puede ser una base para sistematizar los estudios de generación en los mercados municipales. Fue de gran utilidad contar con el número total de locatarios para estimar la generación per capita y también se estimó la generación total de residuos mediante lo contestado por ellos en la encuesta. Esto sirvió para observar y comparar los datos sobre generación proporcionados por los propios generadores con los datos que se obtuvieron mediante el pesado de los residuos. Se pudo constatar que lo contestado por los locatarios está subestimado hasta en 30 % con respecto a los resultados obtenidos por el método de pesado.

Para diseñar estrategias adecuadas, tanto para la disminución de la generación de RS, como para proponer alternativas viables de disposición final, resulta imprescindible contar con datos sobre generación que indiquen el tipo de residuos que se generan, quien los genera, en qué proporción y bajo qué circunstancias se da la generación.

En este contexto los mercados municipales son generadores muy importantes de residuos sólidos orgánicos dadas las características de comercialización y la naturaleza de los bienes que se expenden en estos sitios. Por ello, es factible desarrollar programas tendientes a la disminución de la generación o de reciclaje si se proponen líneas de acción en los sitios donde se generan los residuos, en este caso los mercados, antes de que se mezclen con residuos de otras fuentes.

Dadas las características peculiares de los mercados así como el tradicional desinterés gubernamental por estos sitios, es difícil contar con padrones actualizados de locatarios y de giros comerciales.

Otra variable que debe tomarse en cuenta es la colaboración de los locatarios que sólo podrá lograrse mediante sensibilidad en el trato hacia ellos por parte del personal a participar. Por eso es muy importante establecer una mayor compenetración sociocultural del personal técnico, así como el apoyo de las autoridades y de las asociaciones de locatarios, ya que el papel desempeñado por estos últimos en el manejo de la información acerca de los objetivos y metas será fundamental para el éxito del programa.

El sistematizar una metodología para los estudios de generación de RS en los mercados municipales, reviste gran importancia en la planeación de los servicios de recolección municipales, así como en la disposición adecuada de estos residuos, ya que estos sitios son generadores muy importantes de RS a nivel nacional.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el CONACyT y forma parte del proyecto de investigación doctoral del primer autor. Se agradece el apoyo técnico del Ingeniero José Garza Caligaris. Se está muy reconocido a la Dirección de Aseo Público de la ciudad de Morelia y a las Asociaciones de locatarios por el apoyo brindado para el desarrollo de este estudio.

REFERENCIAS

Bernache G. (1995). *Ecología y sociedad en Guadalajara.* CIESAS-Occidente, México. 16 p.

Buenrostro D.O., Cram S., Bernache G. y Bocco G. (1999). La digestión anaeróbica como alternativa de tratamiento a los residuos orgánicos generados en los mercados municipales. Rev. Int. Contam. Ambient. Vol 15, No. 2. en prensa.

CONADE (Comisión Nacional de Ecología) (1992). Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1989-1990. México, 210 p.

Hockett D., Lober J.D. y Pilgrim K. (1995). Determinants of per capita municipal solid waste generation in the southeastern United States. J. Environ. Manag. *45*, 205-217.

INEGI. (1996). Conteo de población y vivienda 1995. Resultados definitivos, México. 360 p.

Rabbani K.R., Jindal R., Kubota H. y Obeng L. (1983). Environmental sanitation reviews No. 10/11: composting of domestic refuse. ENSIC. Asian Institute of Technology, Bangkok. 107 p.

Rathje W. y Murphy C. (1992). *Rubbish: archaeology of the garbage.* Harper Collins, Nueva York, 280 p.

Restrepo I., Bernache G. y Rathje W. (1991). *Los demonios del consumo. Basura y contaminación.* Centro de Ecodesarrollo, México, 270 p.

Richardson G.M. y Whitney J.B. (1995). Goats and garbage in Khartoum, Sudan: A study of the urban ecology of animal keeping. Hum. Ecol. *23*, 455-475.

SECOFI. (1985). Relación de normas oficiales mexicanas aprobadas por el comité de protección al ambiente- contaminación del suelo. México, 104 p.

SEDESOL-INE. (1994). Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente. México, 220 p.

7. LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO A LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LOS MERCADOS MUNICIPALES

(ANAEROBIC DIGESTION AS ALTERNATIVE TREATMENT OF THE ORGANIC SOLID WASTE FRACTION GENERATED IN MARKETS)

REVista INTernacional de CONTAMinación AMBIENTal (aceptado)

LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO A LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LOS MERCADOS MUNICIPALES

(ANAEROBIC DIGESTION AS ALTERNATIVE TREATMENT OF THE ORGANIC SOLID WASTE FRACTION GENERATED IN MARKETS)

Otoniel BUENROSTRO[1], Silke CRAM[2], Gerardo BERNACHE[3] y Gerardo BOCCO[1]

[1] Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, UNAM, Campus Morelia, Apartado Postal 27-3 (Xangari), 58089, Morelia, Michoacán, México.
[2] Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, UNAM. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria. C.P. 04510.
[3]CIESAS DE OCCIDENTE. Avenida España 1359. Colonia Moderna, C.P. 44190. Guadalajara, Jalisco.

Palabras clave: Digestión anaeróbica, Residuos sólidos orgánicos, Mercados municipales.

RESUMEN

Los residuos sólidos generados en los mercados municipales y tianguis, por lo general se manejan y disponen mezclados con el resto de los residuos municipales, aumentando con ello el problema de contaminación ambiental, a pesar de que estos son una fuente potencial rica en materia orgánica. Esta investigación se realizó con el objeto de experimentar la eficiencia de la digestión anaeróbica para tratar los residuos orgánicos generados en estos sitios.

Se efectuaron determinaciones físicas y químicas, cuyos resultados sugieren que este tipo de fermentación es eficiente para tratar estos residuos, por su alto contenido de humedad, el carácter ácido y la consistencia fibrosa del material.

El proceso se evaluó a nivel de laboratorio en un digestor anaeróbico de tipo hindú en el cual se determinó un tiempo de retención óptimo de 7 días para la digestión de la materia orgánica.

ABSTRACT

The generation of solid wastes in markets and tianguis are managed and disposed with other municipal refuse, which has an impact on the environment. Although, these organic wastes are a potential source of organic matter. This project was carried out to evaluate the efficiency of an anaerobic digestion as a treatment of the organic fraction generated in these sites.

Physical and chemical analyses were carried out. The results indicate that anaerobic decomposition is a safe and efficient method for this kind of solid waste, which are wet, acid and fibrous.
The experimentation phase was carried out in laboratory with an indian digestor. A seven-day retention time was determined as the optimum for the process of digestion matter.

INTRODUCCIÓN

Usualmente los residuos sólidos son considerados negativos y periféricos a las actividades de sus generadores y no como una posible fuente de ingresos; por lo general se deshacen de ellos mediante su dispersión o vertimiento en tiraderos. La generación nacional de residuos sólidos municipales (RSM), se calcula en alrededor de 85,000 ton/día, de las cuales el 52% es materia orgánica. Esta proporción ha venido decreciendo en los últimos años por la transformación socioeconómica y consecuente cambio en patrones de consumo del país (SEDESOL/INE, 1994). Tal es el caso de los residuos sólidos generados en mercados y tianguis. Estos sitios son fuentes de generación muy importantes de residuos sólidos a nivel municipal, y cuya problemática en México se ha agudizado por su manejo y disposición inadecuados.

En la actualidad, a pesar del cambio en los hábitos de consumo y de comercialización entre la población mexicana, los mercados y tianguis continúan ocupando un lugar predominante en la comercialización de bienes y por ende en la generación de residuos sólidos. Bernache (1995), reporta una contribución del 9% de estas fuentes al total de RSM en la ciudad de Guadalajara (Jalisco).

En cuanto a sistemas de tratamiento y de disposición final de los residuos sólidos, la separación y recuperación de subproductos, el composteo aeróbico y la incineración han sido hasta la fecha los sistemas de tratamiento de mayor aceptación a nivel mundial, no obstante el impacto ambiental ocasionado por la quema sin control de los residuos, o la baja eficiencia con la que se lleva a cabo la separación y recuperación de subproductos, derivado de la deficiente organización y del desinterés público y privado por la preservación del ambiente y la optimización del uso de los recursos.

La pirólisis, la digestión anaeróbica, la deshidratación y producción de alimentos, están teniendo actualmente una mayor aceptación (Velasco *et al* 1996; Padilla 1995). Ello se puede atribuir a la creciente demanda de materias primas y a una mayor presión social por la preservación del ambiente. La oxidación, hidrogenación y compactación son alternativas de tratamiento que se encuentran en etapa experimental, por lo que aún no se cuenta con resultados definitivos que permitan ser empleados en los sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos (Brinton 1994).

El composteo es una técnica para la reincorporación de los residuos a los procesos naturales y productivos que por siglos ha sido utilizada en el mundo, principalmente en China e India (Arias 1978). Su implementación en México como proceso de tratamiento se ha visto reducida a la instalación de plantas en ciudades como el Distrito Federal, Toluca, Monterrey, Guadalajara y Oaxaca.

En el proceso de composteo, la transformación de los residuos ocurre principalmente a través de la acción de microorganismos, presentándose en dos etapas: una física (desintegración) y otra química (descomposición)(ENSIC, 1984). La

descomposición de la materia orgánica puede ocurrir en presencia de oxígeno (aeróbico) y en ausencia de éste (anaeróbico) (Ruíz, 1994).

En diversos estudios se citan promedios de materia orgánica del 50 al 60% en los resíduos para que sean susceptibles de aprovecharse por medio de un proceso de fermentación (Weber 1982; Rabbani *et al* 1983). Goosmann (1978), menciona que el composteo es incosteable si la fracción orgánica es menor al 30% del peso total y que los residuos que son más adecuados para el proceso de composteo son los provenientes del jardín, cocina, papel y cartón (excepto madera). De acuerdo con Harrison (1994), el rango óptimo de materia orgánica es del 40 al 60%, y remarca que a pesar de las múltiples ventajas del composteo como técnica eficiente para optimizar la conservación de los recursos, aún se practica en forma muy limitada.

En cuanto la elección de un proceso de fermentación en el que predomine la producción de composta, una característica importante que deberán tener los residuos es que sean predominantemente de origen vegetal. Los residuos sólidos orgánicos de este tipo que se generan en los mercados municipales tienen proporciones de hasta un 85% (Buenrostro 1992).

Las características físicas y químicas de los residuos sólidos orgánicos son de trascendental importancia para la correcta selección del tipo de proceso de fermentación. Los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados tienen contenidos de humedad de alrededor del 86%, así como un pH predominantemente ácido. Estas dos características sugieren que la digestión anaeróbica es el proceso de fermentación más idónea para este tipo de residuos.

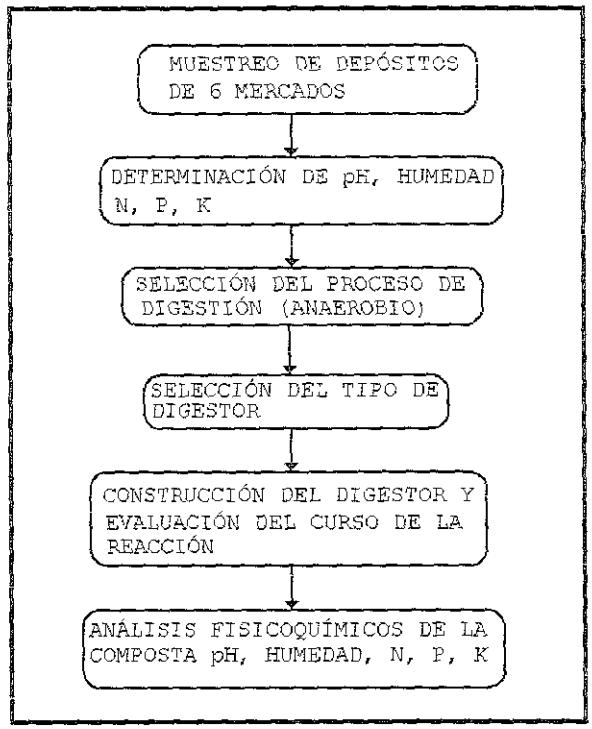
El objetivo de esta investigación fue experimentar la eficiencia de la digestión anaeróbica para tratar los residuos orgánicos que se generan en los mercados municipales de la ciudad de Morelia, Michoacán. Para tal fin fue necesario llevar a cabo un análisis de generación en estos sitios, así como determinar ciertas características físicas y químicas de los residuos orgánicos para evaluar su viabilidad para el proceso anaeróbico.

MATERIALES Y MÉTODO

Las muestras de residuos orgánicos para efectuar los análisis físicos y químicos se obtuvieron del análisis de generación en los 6 mercados establecidos en la ciudad de Morelia. El mercado Revolución y Nicolás Bravo se localizan en el primer cuadro de la ciudad (zona centro), los mercados Vasco de Quiroga, Independencia y Benito Juárez se encuentran en el segundo cuadro. El mercado de Abastos; de reciente construcción (finales de la década de los 80), se ubica en la periferia (noreste de la ciudad).

La caracterización y cuantificación de subproductos se efectuó durante una semana continua en los 6 mercados establecidos en la ciudad (Buenrostro 1992). Los pasos metodológicos se describen en la figura 1 y se examinan a continuación.

FIGURA 1. FLUJOGRAMA SOBRE EL PROCESO DE COMPOSTEO MEDIANTE DIGESTIÓN ANAERÓBICA



Análisis físicos y químicos en los residuos sólidos orgánicos

La preparación de las muestras en el laboratorio para su análisis se realizó de acuerdo a la norma (NOM-AA-52-1985). Se efectuaron determinaciones de humedad, pH, nitrógeno, fósforo y potasio, para conocer las características físicas y químicas de los residuos y sobre esta base decidir el tipo de proceso de fermentación. Los análisis físicos se hicieron con 5 repeticiones y los químicos por duplicado. Humedad se determinó por la norma (NOM-AA-16-1984); pH (NOM-AA-25-1984); nitrógeno por el método Kjeldahl (NOM-AA-24-1984); fósforo por colorimetría con cloruro estañoso y molibdato de amonio (NOM-AA-32-1976) y el potasio por flamometría (SECOFI 1985). Con respecto a carbono total no fue posible realizar su determinación. Ello por que no se dispuso de la infraestructura y equipo requerido en el momento del estudio.

Para el buen desarrollo de este trabajo resultó más conveniente llevar a cabo la investigación en dos fases:

1) determinación de parámetros físicos y químicos, para conocer las características de los residuos.

2) Experimentación del composteo con digestión anaeróbica en condiciones de laboratorio.

Construcción del reactor

Se construyó un reactor anaeróbico a nivel de laboratorio de tipo vertical semicontinuo (tipo Gobar o Hindú) (Trujillo 1986). La construcción se efectuó con lámina galvanizada en forma cilíndrica de 40 cm de diámetro por 70 cm de altura, con un volumen de 98 litros. Se recubrió con antioxidante en la parte interior con el fin de evitar la oxidación de la lámina. La parte superior se cubrió con una tapa que se sujetó con tornillos y se instalaron dos válvulas de paso, una para medir la temperatura y otra para permitir la salida de gases. También se instalaron dos válvulas de globo, una de 2.5 pulgadas, situada en la pared superior del reactor para la entrada del material y otra de tres pulgadas en la parte posterior para la salida del efluente. El digestor se cubrió con material de fibra de vidrio para disminuir la pérdida de calor y se colocó un termostato para mantener la temperatura constante a 35°C.

Cargado del digestor y evaluación del curso de la reacción.

El reactor se cargó inicialmente con 40 k de residuos orgánicos que se extrajeron de muestras de los 6 mercados analizados, preparados previamente, de acuerdo a la norma (NOM-AA-52-1985) (SECOFI 1985). En materia orgánica agrícola se consideró todos los residuos de origen vegetal (residuos de frutas, vegetales, legumbres, madera, etc.), en materia orgánica pecuaria se consideró todos los residuos de origen animal (plumas, vísceras, hueso, excretas, cuero, etc.).

Se controló la temperatura a 35°C dentro del digestor y se mantuvo en condiciones anaeróbicas. Para evaluar el curso de la reacción se evaluaron parámetros como el porcentaje de sólidos en los residuos (SV), el tiempo de residencia de los residuos para su digestión (TR), así como la carga volúmica (Bv). Se sugiere un valor de alrededor de 10% de materia seca, ya que una mayor concentración hace más difícil la homogeneización de los residuos dentro del digestor y disminuye la actividad microbiana (Young 1986).

El porcentaje de sólidos (SV) en la muestra de residuos a digerir se obtuvo a raíz de las determinaciones de humedad en las muestras.

El tiempo de residencia (TR) de los residuos y la cantidad de sólidos volátiles degradados, se evaluó mediante la extracción de 5 muestras del digestor de peso conocido al término de 7, 12, 18, 23 y 28 días y se recargó con la misma cantidad de material extraído.

La cantidad de muestra a extraer, se calculó con la siguiente fórmula:

$$\%\ \text{de velocidad de carga del reactor} = \frac{\%\ \text{de sólidos}}{\text{Tiempo de residencia}}$$

Las muestras extraídas del digestor se colocaron cada una de ellas sobre papel periódico y después sobre una malla metálica y se expusieron a la acción directa del sol por un lapso de 7 horas (de 11:00 a.m. a 18:00 p.m.) para su desecación. Posteriormente se pesaron en una balanza analítica y por diferencia de peso entre la

cantidad de sólidos introducidos al digestor y la cantidad de sólidos extraídos, se calculó el porcentaje de sólidos volátiles degradados.

Determinación de nitrógeno, fósforo y potasio en la composta.

Se determinó nitrógeno, fósforo y potasio al producto en seco, a efecto de comparar los cambios en las concentraciones de estos macronutrimentos durante el proceso de digestión de la materia orgánica. Ello para comparar los resultados obtenidos con lo reportado en la bibliografía, sobre pérdidas de estos macronutrimentos, tanto en digestión aeróbica, como anaeróbica.

RESULTADOS

Análisis físicos y químicos en las muestras de residuos orgánicos

Se efectuaron 5 determinaciones de humedad y pH para asegurar mayor representatividad en los análisis y con ello tener más confiabilidad en los resultados, pues se observó gran variabilidad de un análisis a otro en la misma muestra.

Los porcentajes de humedad en las muestras obtenidas de los seis mercados analizados están en un rango del 80 al 86% en peso. El valor promedio de humedad está en un 83.19%. Los valores de pH van de ácido a ligeramente ácido (pH entre 3.7 y 6.3) (Tabla I). En el curso de los análisis se constató una disminución del pH, conforme el paso del tiempo, ello por la acción digestiva de las diferentes comunidades de microorganismos que producen ácidos grasos volátiles, como el acético, propiónico, isobutírico, butírico, isovalérico y valérico, los cuales son intermediarios del proceso anaeróbico. Sobre esta base se tomaron las muestras de residuos sólidos antes de las 24 horas posteriores a su disposición en los contenedores de los mercados y posteriormente se mantuvieron en refrigeración durante los análisis de laboratorio, a efecto de disminuir la digestión microbiana y que las determinaciones del pH fuesen más confiables.

Los valores de nitrógeno total, oscilan entre un 9 a 14%. Se observó una gran variación en los resultados de las determinaciones de este macronutrimento para cada una de las muestras analizadas. De fósforo total se obtuvieron porcentajes promedio de un 0.27 a 0.42 y del potasio de 0.73 a 0.93 % en peso (Tabla II).

Con respecto a la relación carbono/nitrógeno, esta es fundamental para cualquier proceso de digestión, ya que estos macronutrimentos son dos de los principales requeridos por los microorganismos para formación de biomasa y obtención de energía. La norma NOM-AA-21-1985. SECOFI (1985), especifica la técnica para determinar materia orgánica en los residuos municipales. Sin embargo esta no fue utilizada, ya que para el digestor solo se utilizaron residuos sólidos orgánicos de origen vegetal y pecuario, cuyo contenido es 100% orgánico. Estos residuos se obtuvieron a raíz de la separación de subproductos del estudio de generación.

TABLA I. CONTENIDO DE HUMEDAD (% EN PESO) Y pH EN MUESTRAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS (VALORES PROMEDIO)

MERCADO	% DE HUMEDAD	pH
BENITO JUÁREZ	80.04	5.3
REVOLUCIÓN	84.18	5.1
NICOLÁS BRAVO	83.65	5.1
INDEPENDENCIA	80.56	5.2
ABASTOS	86.06	4.9
VASCO DE QUIROGA	84.65	4.8
PROMEDIO	83.19	5.06

TABLA II. VALORES PROMEDIO DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN MUESTRAS DE RESIDUOS Y EN COMPOSTA (% EN PESO FRESCO)

NUTRIENTE	RESIDUO SÓLIDO	COMPOSTA
NITRÓGENO	11.07	9.43
FÓSFORO	0.36	0.31
POTASIO	0.86	0.63

Construcción del reactor

Se seleccionó un digestor en posición vertical, ya que los residuos producidos en los mercados poseen un gran contenido de agua que incide sobre manera en su volumen y peso específico; además dadas las condiciones socioeconómicas de nuestro país también se pensó en que fuese un proceso económico, con un tiempo de residencia corto, de manejo sencillo y eficiente, y que no ofreciera grandes riesgos ambientales ni a la salud pública.

Cargado del reactor y evaluación del curso de la reacción

Se observó un máximo de sólidos degradados a los 7 días de alrededor del 96% (Tabla III), con lo que se puede concluir que este lapso de tiempo es el periodo de retención óptimo en el que el proceso de digestión de los residuos se complementa de forma eficiente. Después de los 28 días se observó que el porcentaje de sólidos degradados bajó drásticamente, por lo que se decidió detener el proceso.

TABLA III. SÓLIDOS DEGRADADOS (%EN PESO SECO)

TIPO DE MATERIAL	TIEMPO DE RESIDENCIA				
	7 DIAS	12 DIAS	18 DIAS	23 DIAS	28 DIAS
EFLUENTE EXTRAÍDO (g)	2537.5	2300	2273.5	2169.5	2170
PESO DE SÓLIDOS EN EL EFLUENTE (FRESCO)	426.66	386.63	382.17	364.69	364.77
PESO DE SOLIDOS (SECO) (g)	17	65.7	76.2	57	77
% DE SOLIDOS DEGRADADOS	96.05	83.01	80.07	80.18	78.9

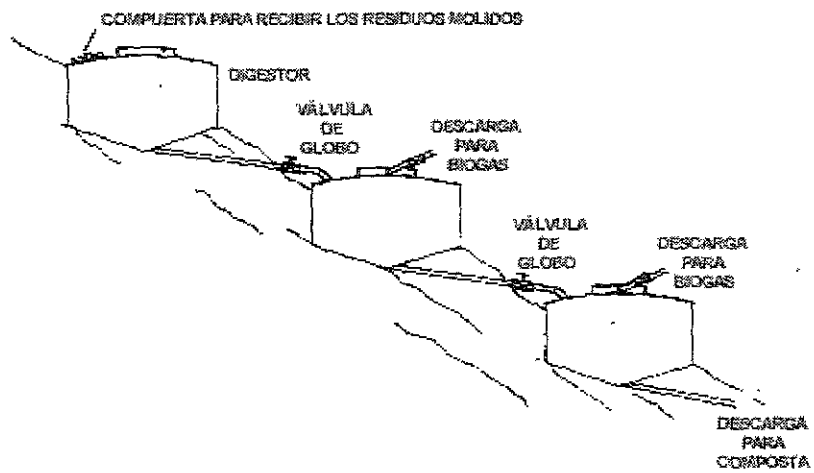
Análisis químicos en la composta

En la Tabla II también se muestra los resultados de las determinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio que se realizaron a la composta, una vez que se sometió al proceso de secado.

Propuesta de construcción de un digestor anaeróbico a nivel piloto

Para el tratamiento de los residuos orgánicos generados en los mercados de Morelia, en los cuales se estimó una generación promedio de 15 ton/día. Se propone la instalación de tres digestores de 46 m^3 cada uno. Fabricados con cemento y ladrillo, colocados a desnivel uno de otro e interconectados por medio de válvulas de globo, a fin de asegurar la remoción de los residuos. Para esto se sugiere una pendiente natural del terreno y optimizar costos de operación(Fig. 2).

FIGURA 2. PERSPECTIVA DE LOS TRES DIGESTORES ANAERÓBICOS



Cálculo del volumen del digestor.
Cantidad de residuos orgánicos a tratar: 15 ton/ día.
Peso volumétrico de los residuos: 0.769 ton/m^3
Volumen del digestor requerido para 15 ton/día: 19.505 m^3/día.
Tiempo de residencia de los residuos dentro del digestor: 7 días.
Volumen requerido para el total de residuos de 7 días: 137 m^3

El diseño de cada uno de los digestores es en forma cónica (Fig. 3), con un diámetro de 6 m y ¾ partes del volumen total para el cilindro y ¼ parte para el volumen del cono.

La altura del cilindro, de acuerdo a cálculos sería de 1.22 m. La altura del cono sería de 0.82 m. En este último se instalaría una válvula de paso para la salida del biogas producido. Este se utilizaría para calentar agua que se canalizaría a través de un serpentín y mantener una temperatura constante dentro del digestor (Fig. 4).

Estas dimensiones son para volumen total; para diseño real se considera un volumen de seguridad de un 20% más.

FIGURA 3. VISTA LATERAL DEL DIGESTOR

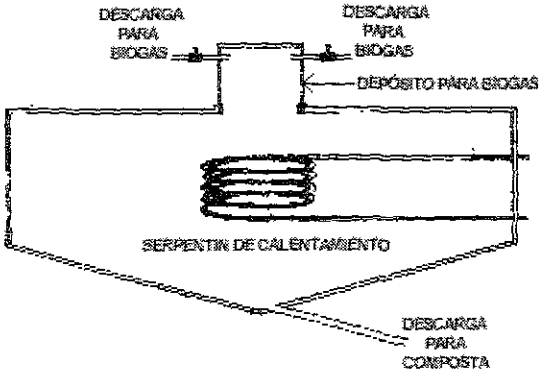
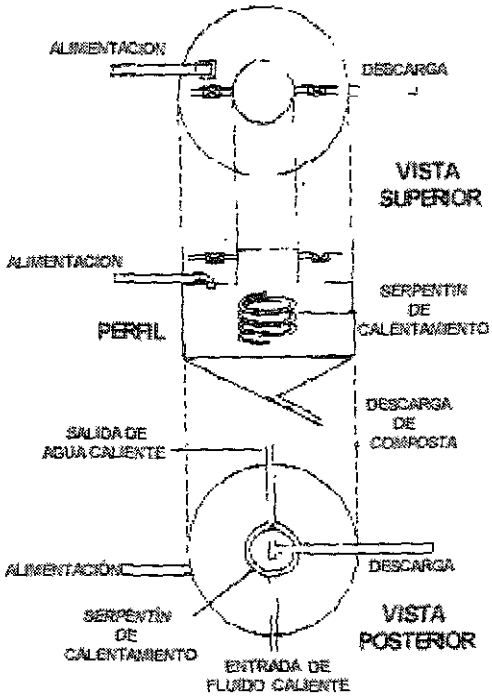


FIGURA 4. VISTA SUPERIOR Y POSTERIOR DEL DIGESTOR



DISCUSIÓN

Los residuos sólidos orgánicos que se generan en los mercados del municipio de Morelia, por lo general se manejan y disponen mezclados con otro tipo de residuos *domiciliarios, aumentando con ello el problema de contaminación ambiental.* Los residuos orgánicos que se generan en los mercados poseen características físicas y químicas, que los constituye en una fuente viable para la fabricación de composta. Esta además de ser un mejorador orgánico de la estructura del suelo, contiene nutrimentos que son importantes para el desarrollo de las plantas.

Por otro lado se pudieran generan empleos, mediante la implementación de este tipo de procesos. Esto puede ser una opción económica y factible para el tratamiento de los residuos orgánicos de mercados y reducir la cantidad de residuos sólidos municipales en alrededor de un 10%. Ello repercutiría en un ahorro para el municipio por concepto de gastos de recolección y disposición de los residuos; además aumentaría la vida útil del relleno sanitario. Otro aspecto muy importante es la disminución del impacto al ambiente por la deposición incontrolada de este tipo de residuos y la posibilidad de reintegrarlos al ambiente de forma que puedan ser absorbidos por los sistemas ecológicos. Para ello se propone primeramente el utilizar la

composta en reposición de áreas verdes de los mismos municipios, o en viveros como substrato para plantas forestales y ornamentales. Ello mientras se hace una evaluación biológica a más detalle de la composta para su utilización en cultivos.

La experimentación se llevó a cabo en un digestor anaeróbico continuo en posición vertical tipo hindú, que se ha venido utilizando como alternativa para el procesamiento de otro tipo de residuos orgánicos, como estiércol, aguas negras, en los que los contenidos de humedad son muy altos como para establecer un proceso de digestión aeróbica.

En cuanto a la selección del sistema de digestión se pensó básicamente para la disposición de los residuos orgánicos que se generan en los mercados y en el que predomine la producción de composta por sobre cualquier otro subproducto. Una característica importante de éste sistema es que se requiere de residuos vegetales predominantemente sobre los residuos animales (Amaya 1979). Característica que cumplen los residuos que se generan en los mercados municipales de la ciudad de Morelia, en los cuales se generan proporciones de materia orgánica vegetal de hasta 85% del total de residuos generados (Buenrostro 1999).

El contenido de humedad en los residuos sólidos fue uno de los principales factores que sugirió el uso de la digestión anaeróbica, ya que los porcentajes de humedad obtenidos en las muestras son mayores que los reportados como adecuados para un proceso de digestión aeróbica. Rabbani *et al* (1983), sugieren contenidos de humedad entre un 50 a 70%. De acuerdo a las características de los residuos orgánicos de los mercados de la ciudad de Morelia, cuyo contenido de humedad oscila del 80 al 86%, se tendría que someter el material, una vez molido y homogeneizado a un proceso de desecación previa, o en su caso agregar algún otro material, cuyo contenido de agua fuese bajo. Ello para llevar el contenido de humedad de los residuos a los niveles requeridos en un proceso de digestión aeróbica, situación que aumentaría los costos de producción.

El carácter ácido de los residuos fue otro factor determinante en la selección del tipo de proceso porque los organismos que intervienen en la digestión anaeróbica soportan intervalos de tolerancia a pH más amplios, aunque el efecto del pH en el proceso de digestión ha sido poco estudiado (ENSIC 1984).

El contenido de nitrógeno que se determinó para los residuos orgánicos analizados en este trabajo, coincide con el 7 a 10% reportado para residuos similares (Cointreau 1982). En cuanto a la variación del contenido de nitrógeno entre las diferentes muestras de residuos, se puede atribuir al contenido heterogéneo de nitrógeno en las diferentes macromoléculas de origen vegetal y pecuario en los residuos. Aunque estos se sometieron a un proceso de molienda y homogeneización previa a los análisis. La molienda de ciertos residuos, como hueso, plumas, etc. no fue tan eficiente.

Las pérdidas de nitrógeno durante el proceso de digestión fue un parámetro importante en este trabajo, ya que tratándose de macronutrimentos, la conservación del nitrógeno es la más importante, pues se pueden tener pérdidas de éste elemento por lixiviación o a través de escape de amonio y volatilización de gases nitrogenados.

Aviva (1994) reporta que estas pérdidas pueden ser afectadas por la relación C:N, el pH, el contenido de humedad, la aireación, temperatura, la forma en que se encuentran los compuestos nitrogenados al inicio del composteo y la absorción o capacidad de retención de los materiales a compostear.

Se determinaron pérdidas de nitrógeno de 14-15%, hecho que concuerda con lo reportado en la bibliografía y que confirman que el proceso anaeróbico es el más adecuado para no tener grandes pérdidas de nitrógeno. Hoitink (1995), reporta pérdidas de nitrógeno total en composteo anaeróbico de residuos de jardín de 10 a 15%, mientras que en composteo aeróbico de 22.8%.

Respecto a las determinaciones de potasio se observó que los valores se mantienen en un rango similar antes y después de la digestión. Ello se puede atribuir a la estabilidad química de este macronutrimento y no se pierda por volatilización, como en el caso del nitrógeno.

Por otra parte se determinó que el mayor porcentaje de sólidos degradados se dio en un tiempo de residencia de siete días. Después de este periodo se mantuvo a la baja, lo cual sugiere una inhibición de la digestión. Esto se puede atribuir a un agotamiento del substrato para el desarrollo de las diferentes comunidades de bacterias, lo cual sugiere que la capacidad de carga volúmica del digestor fue mayor. Esto quiere decir que tuvo que extraerse más composta y cargar más residuos, para que se continuara con el proceso de digestión sin abatimiento de las comunidades bacterianas.

La carga volúmica (Bv) del digestor se determinó de acuerdo al contenido de sólidos totales contenidos en el material a compostear (16.81%), los cuales están dentro del rango reportado como óptimo para digestores anaeróbicos (Baquedano *et al* 1983; Young 1986). Sin embargo estos últimos se han obtenido de estudios en digestores anaeróbicos con carga discontinua y a temperatura ambiente. En este estudio se pensó en un digestor con carga continua y se controló la temperatura en un rango constante, lo cual pudo influir positivamente sobre el crecimiento de las comunidades bacterianas y la consecuente disminución del tiempo de residencia.

Se decidió por un digestor de carga continua a efecto de ofrecer una alternativa para compostear los residuos orgánicos que se generan diariamente en los mercados y que por sus características de fácil degradación no pueden ser retenidos temporalmente para su procesamiento, lo cual ocasionaría un impacto negativo al ambiente, o de lo contrario, construir la suficiente cantidad de digestores para procesar todos los residuos, situación que sería inviable económicamente.

Aunque no fue posible evaluar la relación carbono/nitrógeno de los residuos, el total de sólidos totales degradados sugieren un óptimo desarrollo del proceso de digestión, lo cual puede ser un indicador de un contenido optimo de estos macronutrimentos en los residuos orgánicos de mercados. La relación óptima de C/N es de 25-35:1. Generalmente los residuos orgánicos municipales que básicamente contienen residuos orgánicos vegetales tienen una relación C/N óptima (Tchobanoglous *et al* 1977). Tampoco se evaluó la producción de biogás que puede ser otro subproducto muy importante de la reacción a utilizar como combustible, sobre todo en las áreas rurales del país. El proceso de digestión se evaluó en laboratorio, se propone su realización a nivel piloto, así como profundizar en los análisis de bióxido de carbono y metano que se producen de la reacción.

La importancia de este trabajo reside en la evaluación del proceso de digestión anaeróbica, empleando residuos orgánicos generados en los mercados municipales en forma natural; es decir, sin dilución previa y sin agregar ningún otro material. Este factor es de suma importancia cuando se considera el empleo de este proceso en áreas rurales, pues aparte de bajar los costos de instalación del equipo por la disminución del

volumen del reactor, estas áreas tienen serias deficiencias presupuestarias, lo que influye de manera determinante en la toma de decisiones para un proceso de tratamiento y disposición de residuos sólidos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el CONACYT y forma parte del proyecto de investigación doctoral del primer autor. La fase analítica se realizó en el Departamento de Química de la Facultad de Química de la UMSNH.
Se agradece el apoyo técnico del Ingeniero José Garza Caligaris.

REFERENCIAS

Amaya R. y Cendejas H. (1979). *Un ensayo sobre como producir combustible y fertilizante de los desperdicios agrícolas. Aplicación de la tecnología en el medio rural*, UMSNH. México, 17 p.

Arias J. (1978). *Digestión anaeróbica de desechos orgánicos: Prioridad estratégica para el ecodesarrollo*. Reunión Nacional sobre Energía no Convencional. Palmira, Morelos, 16 p.

Aviva A. y Portnoy R. (1994). Nitrogen and carbon mineralization rates of composted manures incubated in soil. Jour. Environ. Qual. *23*,1184-1189.

Baquedano M., Young M. y Morales L. (1983). *Los digestores: Energía y fertilizantes para el desarrollo rural*. INIREB. Xalapa, 30 p.

Bernache G. (1995). *Ecología y sociedad en Guadalajara*. CIESAS de Occidente, México, 16 p.

Buenrostro, D.O, Bernache, P.G, Cram, S. & Bocco, G.1999. Análisis de la generación de los residuos sólidos en los mercados de Morelia (Solid waste generation analysis in markets of Morelia). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* **15** (1).

Brinton W. y Droffner M. (1994). Microbial approaches to characterization of composting proccess. Comp. Scie. Utiliz. *2*,12-17.

Cointreau S. (1982). *Environmental management of urban solid wastes in developing contries. A Project Guide. Urban* Development Departament. Washington, 130 p.

ENSIC. (1984). Sanitation environmental reviews No 13/14. Recycling of solid wastes. Asian Institute of Technology, Bangkok, 103 p.

Goosman G. (1978). Mechanical processing and composting. Waste disposal and resources Recovery. En*: Proc. seminar on solid waste management.* (B. N. Lomani and G. Tharun Eds.). Asian Institute of Technology, Bangkok, pp.133-146.

Harrison H. (1994). Recycling organic wastes: Research, engineering and outreach. Cornell Engineering Quarterly *28*,18-23.

Hoitink H.A.y Keener H.M. (1995). Composting organics in the Netherlands. Bioc. *36*, 37-38.

Padilla E. y Guzmán A. (1995). Utilización de desperdicios agroindustriales para el cultivo de setas. Agroc. *6*,8-11.

Rabbani K.R.,Jindal R., Kubota H.y Obeng L. (1983). *Environmental sanitation reviews No. 10/11: composting of domestic refuse.* ENSIC. Asian Institute of Technology, Bangkok, 107 p.

Ruíz F.J. (1994). La agricultura orgánica. En: *Alternativas para el campo mexicano.* Tomo II. (Fontamara Eds.). México, pp. 152-181.

SECOFI. (1985). *Relación de normas oficiales mexicanas aprobadas por el comité de protección al ambiente. Contaminación del suelo.* México, 104 p.

SEDESOL/INE. (1994). *Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente.* México, 220 p.

Tchobanoglous G.,Theisen H. y Eliassen R. (1977). *Solid wastes: Engineering principles and management.* McGraw Hill, NY, 280 p.

Trujillo Z. y Gutierrez P. (1986). *Comportamiento de digestores anaeróbicos de desplazamiento para el tratamiento de estiércol de cerdo bajo condiciones mesofílicas.* Tesis. Facultad de Ingeniería Química. UMSNH.

Velasco M. *et al* (1996). Utilización de residuos semisólidos (fondajes) de tanques de fermentación de melaza de caña de azúcar en alimentación animal. Téc. Pec. *34*, 29-37.

Weber H. (1982). Experiences in Boiling of Compost Plants in Developing Countries. En: *Recycling in developing Contries.* (K.J. Thome-Kozmiensky ed) E. Freitag-Verlag fur Umwelttechnik, Berlin, pp. 163-168.

Young M. (1986). *Digestores Anaerobios: Criterios de Selección, Diseño y Construcción.* INIREB. Xalapa, 51 p.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En esta investigación se abordan aspectos socioeconómicos y ambientales, los cuales son requisito indispensable a tomar en cuenta en la gestión de residuos sólidos. En el trabajo se planteó en primer lugar, una homologación del concepto de residuo sólido *municipal, considerando a éste como los residuos que se producen dentro de la* circunscripción territorial del municipio. En segundo lugar, se propuso una clasificación de generadores basada en el tipo de actividad económica, lo cual permite relacionar la fuente de generación con el tipo de residuo sólido producido. En ésta se clasifican las fuentes de generación en tres categorías: ciudad, industria y campo. De éstas se *derivan siete clases de generadores:* 1) residenciales (viviendas) y no residenciales: 2) comerciales (comercio formal e informal), 3) institucionales, 4) construcción, 5) agropecuarios, 6) industriales y 7) especiales. En cada una de estas clases se producen diversos tipos de residuos sólidos, los cuales se definen de acuerdo con la fuente de generación.

La homologación de conceptos y de clasificación de las fuentes de generación de residuos sólidos en el ámbito internacional, es fundamental en el avance de la investigación básica y aplicada en este campo. Resulta importante para el análisis y comparación de resultados obtenidos en regiones diferentes. Para los países en vías de desarrollo, las experiencias de otros países resultan importantes, ya que pueden utilizar éstas para investigaciones *in situ* y desarrollar programas de gestión de residuos sólidos más eficientes.

La clasificación propuesta es compatible con la nomenclatura internacional de la actividad industrial y económica, lo cual, permite generar bases de datos para cuantificar de manera indirecta las fuentes de generación de residuos sólidos; esto con base en la información de las actividades económicas, que se encuentra disponible en estadísticos censales de cada país. Además, es factible establecer diagnósticos previos de las características físicas y químicas de los residuos de una fuente o sitio determinados, lo cual brinda información preliminar útil para realizar estudios sobre producción y composición de residuos sólidos a diferentes escalas, así como para efectuar análisis de generadores específicos.

En la segunda fase de la investigación, se efectuó un análisis de composición de residuos sólidos en la ciudad de Morelia, el cual tomó como base la clasificación de generadores propuesta. El análisis demostró que la clasificación es eficiente para cuantificar los generadores que intervienen en la producción de residuos sólidos.

Con base en el seguimiento de las rutas del servicio oficial, se determinó una cobertura del 30% de la recolección; el resto fue cubierto por el servicio concesionado. Ello concuerda con los resultados de la cuantificación de los residuos sólidos que ingresan al tiradero de Morelia, siendo de 89 y de 215 t día^{-1} para el servicio oficial y el servicio concesionado respectivamente. Con respecto a la estacionalidad de la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) en Morelia, el análisis de los ingresos del servicio concesionado al tiradero, durante el período de diciembre de 1996 a noviembre de 1997, mostró una fluctuación mensual en la generación de RSU. Se observó un descenso de la cantidad en el mes de febrero y un aumento en el verano.

La comparación de los resultados del análisis de composición de residuos residenciales con estudios previos, realizados en la década de los 80's, indicó una modificación en los patrones de consumo en la población urbana de México. En este

estudio se encontraron más de 30 subproductos, de los cuales el 17% correspondió a materiales plásticos, a diferencia del 7% encontrado en 1987. En contraste, los metales y vidrio mostraron una tendencia decreciente: de 2.4 al 1.8 y de 7 al 4.7% respectivamente.

El análisis de la composición de los residuos sólidos generados en los mercados, mostró la influencia de la época del año, sobre el contenido de materia orgánica y de humedad en los residuos. Asimismo, se observó la influencia de la estacionalidad sobre el consumo de la población y en el tipo de productos que se comercializan. Esto es determinante en la proporción de materia orgánica y cantidad de RS generados, ya que variará de acuerdo a la porción aprovechable del producto que se expende y de las ventas totales.

La generación *per capita* de residuos sólidos residenciales (RSR) mostró una relación positiva, de acuerdo con el estrato socioeconómico, lo cual sugiere que la composición de los residuos sigue un patrón similar al observado en países con ingreso *per cápita* más alto que México. No obstante, los residuos alimenticios, junto con otros componentes orgánicos constituyeron alrededor del 60% de la composición total de los RSR. Aunque los coeficientes de generación *per capita* mostraron una tendencia creciente del estrato bajo al alto, estadísticamente no hubo diferencia significativa (Fc 2, 242, 0.05); la homogeneidad de varianzas se corroboró con la prueba C de Cochran (3, 242, 0.05), por lo que la generación *per cápita* determinada para esta clase fue de 0.629 k día^{-1}. Este resultado es similar al de 0.7 k día^{-1} reportado en los 80´s y más bajo que el de 1 k día^{-1} a principio de los 90´s. La generación total diaria de RSR en Morelia fue de 321 toneladas, utilizando el coeficiente de generación *per capita*, y de 307 toneladas, con el coeficiente de generación por vivienda, obteniendo una diferencia de 14 toneladas entre ambos métodos.

El estrato alto generó más papel y residuos de jardín. En el estrato bajo no se encontró este último subproducto, pero se determinó el 12.42% de tierra y el 0.40 % de heces fecales, lo cual se explica por la carencia de áreas verdes en las viviendas, o que de existir, no están recubiertas de pasto, y por lo general, se utilizan como traspatio para animales domésticos. Muchas calles carecen de pavimento o de banquetas, y en su gran mayoría las viviendas no tienen piso de material en su interior. Se observó también, una mayor generación de madera, material de construcción, fibra sintética, pilas eléctricas, plástico película y pañal desechable; estos tres últimos contradice lo reportado anteriormente, ya que los resultados tuvieron un comportamiento inverso a lo esperado.

Esto último es porque en México, algunas veces el tipo de vivienda y la localización no reflejan el ingreso real de los moradores, como generalmente sucede en los países desarrollados, por lo que la marginalidad social y la urbana no necesariamente se correlacionan. En el estrato bajo se duplica el número de personas menores de tres años, con respecto al estrato medio, y con el alto se multiplica por siete. Ello puede explicar el mayor contenido de pañales desechables en los residuos del estrato bajo, lo que refleja modificaciones en los patrones de consumo entre la población.

El estrato medio generó más hueso, hule, plástico rígido y metal ferroso y no ferroso; además, en varios subproductos se obtuvieron índices de generación similares al estrato alto. En general, se detectó la presencia de una gran cantidad de desperdicios de alimentos en los residuos de los tres estratos socioeconómicos. No obstante, en el

estrato bajo predominó la tortilla y en los estratos medio y alto el pan, galletas y comida en descomposición.

Con respecto al análisis socioeconómico de los generadores residenciales, los resultados sugieren que el nivel económico es inversamente proporcional al número de habitantes por vivienda. La escolaridad fue mayor conforme aumentaba el ingreso económico, y siempre fue menor en las mujeres de los tres estratos socioeconómicos, alcanzando los niveles más bajos entre las mujeres del estrato bajo.

El análisis de composición de los residuos no residenciales (RSNR) tampoco mostró diferencia significativa entre los coeficientes de generación por clase, ni en la generación por subproducto (Fc. 3, 31, 0.05 y Fc. 3, 131, 0.05 respectivamente). La homogeneidad de varianzas se corroboró con la prueba C de Cochran (4, 31, 0.05).

La cuantificación de los residuos generados en mercados y tianguis por el método de encuesta tuvo una subestimación del 36%, con respecto al método de pesado del camión recolector. La mayor generación de residuos predominó en los giros comerciales de verduras, frutas, comida, jugos/licuados, frutas/verduras y carnicerías/pescaderías. El peso volumétrico de los residuos fue de 760 k/m^3, la materia orgánica constituyó el 83%, el papel y cartón 10% y los otros subproductos sumaron el 7% restante. Los análisis físicos y químicos efectuados a la fracción orgánica, dieron valores promedio de humedad de 83.18%, pH 5.06, nitrógeno 11.07, fosforo 0.36 y potasio 0.86 para los residuos, y para el efluente fueron 9.43, 0.31 y 0.635 en peso fresco respectivamente. Se escogió la fermentación anaerobia por el contenido de fibra vegetal y de humedad en los residuos. El proceso se evaluó en un digestor vertical, en el que se determinó un tiempo de retención óptimo de 7 días, y un 96 % de sólidos totales degradados.

Los resultados de la encuesta en los mercados y tianguis reflejaron que el tamaño y tipo de material con que está construido el local indican el nivel socioeconómico de los locatarios. Asimismo, se determinó en el mercado de abastos la mayor generación de RS por locatario, lo cual indica que el monto de ventas es un determinante de la cantidad de residuos producidos.

En conjunto, la subdivisión no residencial aglutina 19,325 generadores, con una generación *per capita* de 0.9 k día^{-1}. Los mercados y tianguis se agrupan en esta subdivisión, con una generación por local de 7.2 k día^{-1}; a excepción del mercado de Abastos, la cual fue de 20 k día^{-1}. De esta manera, los mercados y tianguis contribuyen a la generación de RSU con 31 ton día^{-1}. Ello resulta en una generación total de esta categoría de 46 ton día^{-1} de RS en la zona metropolitana de Morelia.

Porcentualmente la contribución de la subdivisión residencial a la generación total de RSU en Morelia alcanza el 87.4% y la subdivisión no residencial con el 12.6% restante. De este último, el comercio de mercados y tianguis contribuyen con más de la mitad de la generación total de los RSNR. Adicionalmente, los resultados de la investigación en el estudio de caso indicaron que la cantidad de residuos depositados en el tiradero es menor con respecto a los generados. La comparación de los resultados obtenidos por los dos métodos de análisis (311 ton día^{-1} que ingresan al tiradero y 367 ton día^{-1} de residuos generados), existe una diferencia del 15% entre los dos métodos de análisis. Ello indica que no es recomendable considerar la cantidad de residuos sólidos recolectados para efectos de planeación en los sistemas de limpia.

El uso de coeficientes de generación y la regresión lineal resultaron eficaces para explicar y predecir la generación de RS en regiones poco estudiadas, con escasa o nula

planeación ambiental y de rápido crecimiento poblacional, como es el caso de Morelia. El ANOVA de la RLM indicó que las variables que resultaron significativas para predecir la generación de los residuos sólidos residenciales son el ingreso económico y la densidad de habitantes por vivienda. El modelo obtenido, con una Pr>F=0.0001 y un R^2=0.075, dio un valor pronosticado de 2.46 k, el cual se acerca al valor observado de 2.49 k $día^{-1}$ por vivienda. El modelo significativo para predecir la generación de residuos no residenciales, fue el que incluyó la variable número de horas laboradas por día. El ANOVA de la RLM dio una Pr>F=0.05 y un R^2=0.177; el valor pronosticado de 1.84 k resultó ser el doble de lo observado (0.925 k $día^{-1}$ por local). Los modelos obtenidos en esta fase representan una primera aproximación a la predicción de la generación de RSU.

Con esta investigación se pretende, desde una perspectiva interdisciplinaria, contribuir al desarrollo de teoría sobre el problema ambiental que implica la generación de residuos sólidos. Los resultados obtenidos se orientan a: (1) ampliar el conocimiento de las diversas fuentes que intervienen en la producción de residuos sólidos urbanos; (2) optimizar métodos de análisis para determinar la generación total y la proporción de éstos que son recolectados por los sistemas de limpia; (3) precisar la contribución tanto de la generación total como de subproductos de cada una de las fuentes generadoras; (4) proponer métodos de investigación alternativos para generadores poco estudiados con anterioridad, como es el comercio informal; (5) profundizar el estudio de factores socioeconómicos que inciden en la producción de residuos sólidos, así como determinar el flujo de residuos de diferentes fuentes en la corriente de residuos sólidos urbanos. Todos estos son requisitos indispensables para la planeación de los sistemas de recolección y la gestión adecuada de los residuos sólidos.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere ahondar en el desarrollo de líneas de investigación que visualicen el problema de la generación y disposición inadecuada de los residuos sólidos, desde una perspectiva interdisciplinaria. El efecto que ocasionan los residuos sólidos en la salud pública, flora, fauna, así como en suelo, cuerpos de agua y sistemas de agua subterránea afectan la sustentabilidad de estos recursos, y por ende la permanencia de las sociedades actuales. El encontrar soluciones adecuadas requiere del trabajo conjunto de ciencias ambientales y sociales.

2. Las soluciones no deben limitarse sólo a la recolección y disposición final de los residuos sólidos, ni es responsabilidad exclusiva de los gobiernos. Compete a todos los sectores de la sociedad: gobierno, iniciativa privada, ciudadanía, académico y ONG's, buscar alternativas para la gestión de residuos que se adecuen a cada región.

3. Es necesario un replanteamiento de la investigación sobre residuos sólidos, el cual debe incluir el conocimiento de las causas que determinan su producción, así como estudios de generación que permitan conocer las fuentes que intervienen, cantidad y tipos de residuos que se producen. El conocimiento de estas variables, aunque obvio, resulta imprescindible para el diseño adecuado de investigaciones que traten el efecto de los lixiviados en los cuerpos de agua y sistemas de agua subterránea, así como las consecuencias de los diversos métodos de disposición de residuos sólidos a la flora, fauna y organismos del suelo.

4. La perspectiva actual que basa la investigación en el desarrollo tecnológico para el tratamiento de residuos sólidos, implica un costo económico que limita los márgenes de acción de los gobiernos para resolver este problema ambiental. El cambio implica desarrollar en lo inmediato líneas de investigación que se basen en la conceptualización de los residuos sólidos no sólo como un contaminante, sino como un recurso que puede ser productivo.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero expresar mi gratitud al comité tutorial, los Drs. Gerardo Bocco, Gerardo Bernache y Silke Cram, por su tiempo, paciencia y conocimientos, que enriquecieron mi desarrollo académico e hicieron posible la realización de este trabajo. Agradezco a los sinodales por sus comentarios para las correcciones finales: Drs. Irma A. Rosas, Marisa Mazari, Alejandro Toledo y Norma E. García.

Especialmente para Chaly por su aliento y comprensión, a Paulina y Ana Lucía por su optimismo y resistencia. A mi padre, madre y hermanos por su solidaridad. A mis compañeros del laboratorio de Geoecología, del DERN, a los estudiantes del servicio social de la UMSNH, que colaboraron en los muestreos. Asimismo, a Sergio Zárate, al Departamento de limpia de Morelia, al Instituto de Ecología, a la Facultad de Ciencias de la UNAM, al Conacyt, y con todo mí respeto a México.