
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS EN UN MUNICIPIO FRONTERIZO DE MÉXICO

STATISTICAL ANALYSIS OF DOMESTIC SOLID WASTE IN A BORDER MUNICIPALITY OF MEXICO

Paúl A. Taboada-González, Quetzalli Aguilar-Virgen y Sara Ojeda-Benitez

Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Blvd. Juárez y Calle de la Normal S/N,
Col. Maestros Federales, C.P. 21280 Ensenada, Baja California-México
(e-mail: e-mail: taboadapa@gmail.com)

Recibido: 24/08/2010 - Evaluado: 19/10/2010 - Aceptado: 29/10/2010

RESUMEN

Este artículo reporta el comportamiento en la generación de residuos en una comunidad urbana (Ensenada) y dos rurales (San Quintín y Vicente Guerrero) en Baja California, México, durante un periodo estacional. Los residuos analizados provenían directamente de los camiones recolectores municipales, tomándose muestras durante una semana. La generación per cápita se determinó considerando los residuos recolectados y el número de habitantes; la composición se determinó conforme a la norma NMX-AA-015-1985 y el procedimiento propuesto por Ojeda-Benitez et al. (2003). Los principales componentes de los residuos son los residuos alimenticios, papel y cartón, plásticos, y pañales desechables. Se observa que existen diferencias significativas en la composición de RSD entre las poblaciones urbanas y rurales, a pesar de la cercanía geográfica. La composición y generación de residuos responden a diversas variables, por lo que para poder generalizar estos parámetros en zonas rurales y urbanas en una región es necesario contar más estudios de caracterización.

ABSTRACT

This paper reports the behavior in the generation of DSW in an urban community (Ensenada) and two rural communities (San Quintin and Vicente Guerrero) in Baja California, Mexico, during a seasonal period. The analyzed waste came directly from the municipal garbage trucks, taking samples for a week. Per capita generation was determined considering the waste collected and the number of inhabitants; the composition was determined according to standard NMX-AA-015-1985 and the procedure proposed by Ojeda-Benitez et al. (2003). The main components of waste are food waste, paper and cardboard, plastics, and disposable diapers. It is showed that there are significant differences in the composition of DSW between urban and rural populations, despite the geographical proximity. The composition and waste respond to different variables, so that, in order to generalize these settings in rural and urban areas in a region, it is a need to count with more characterization studies.

Palabras clave: residuos sólidos; caracterización; generación de residuos; análisis estadístico
Keywords: solid waste; characterization; waste generation; statistic analysis

INTRODUCCIÓN

La moda y el creciente mercado mundial provocan que la obsolescencia de los productos ocurra demasiado rápido y con ello se generen grandes cantidades de residuos sólidos. Otros autores (Buenrostro y Bocco, 2003; Jiménez, 2002; SEMARNAT, 2008; Shah, 2000) indican que la generación inicia cuando un consumidor decide que un producto se torna no deseable y/o sin utilidad para él. Este momento varía dependiendo del criterio de cada individuo, de las costumbres de la colectividad y de la disponibilidad de ciertos recursos. La adopción de un estilo de vida semejante al modelo de las sociedades industriales ha contribuido también al aumento en la generación de residuos.

Debido a las grandes cantidades de residuos sólidos generados, la gestión de residuos es uno de los problemas crónicos que enfrentan los gobiernos. La falta de infraestructura provoca que en la mayoría de las ciudades no se recolecten todos los residuos generados y que, de los residuos recolectados, sólo una fracción reciba una disposición adecuada. Esta situación se ha reportado en países como Bhutan (Phuntsho et al., 2009), Tanzania (Vuai, 2010) y Tailandia (Hiramatsu et al. 2009)

El mal manejo de los residuos sólidos causa un deterioro del paisaje natural, manifestado como contaminación de suelo, aire y cuerpos de agua. Lo anterior pone en riesgo la salud humana y conduce a una menor biodiversidad por mortandad de poblaciones animales y contaminación de especies vegetales de importancia social y económica, como lo han expuesto algunos investigadores (Philippe y Culot, 2009; Ayininuola y Muibi, 2008).

Actualmente existen opciones tecnológicas que pueden ser aplicadas para reducir los efectos indeseables de los residuos sólidos. No obstante, los tratamientos de residuos varían según las necesidades y características de las comunidades. De esta forma, tratamientos que son factibles en regiones frías debido al aprovechamiento de calor, en regiones más cálidas pueden estar fuera de contexto. La selección de tecnología cambia drásticamente dependiendo de lo que se pretenda obtener. Por ello, el conocimiento respecto a la generación y composición de residuos sólidos domésticos (RSD) es importante para los tomadores de decisiones.

La generación per-cápita y la composición de residuos no es generalizable. Estas no dependen únicamente del número de habitantes de una población, sino que es afectada por aspectos económicos, políticos y sociales, tales como ingreso per-cápita, cultura, hábitos de consumo, conciencia ecológica, nivel de desarrollo, entre otros. Así, se puede esperar que la generación per-cápita entre un país desarrollado y uno en vías de desarrollo difiera significativamente (Taboada et al., 2009).

Phuntsho et al. (2009), indican que los datos sobre generación de residuos sólidos y su composición son parámetros fundamentales para la planificación, diseño e implementación de sistemas de gestión de los RSU. En México, los estudios sobre cuantificación y caracterización de los residuos sólidos domésticos se han realizado principalmente en grandes ciudades. Esto provoca una carencia de información sobre ciudades o comunidades más pequeñas. La Ley General para la Prevención y Gestión integral de los Residuos Sólidos (LGPGIR, 2003) establece la necesidad de crear un sistema de información relativa a la generación y gestión integral de los residuos sólidos urbanos para lograr la prevención de la generación y el manejo sustentable de los residuos. También enuncia que los municipios tienen a su cargo formular los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos. Para lograr lo anterior, es necesario contar con información pertinente.

Con la finalidad de aportar información para lograr un manejo sustentable de los residuos, el objetivo de este estudio fue analizar el comportamiento de los residuos sólidos domésticos generados en un periodo estacional en una zona urbana (Ensenada) y dos comunidades rurales (San Quintín y Vicente Guerrero) de Baja California, México.

METODOLOGÍA

La ciudad de Ensenada es la cabecera municipal del municipio de Ensenada y se encuentra ubicada a los 31°52' de latitud norte y los 116°36' de longitud oeste. La precipitación promedio anual histórica es de 250 mm, con un clima mediterráneo, temperatura templada la mayor parte del tiempo y lluvias principalmente en invierno. En el 2005 la ciudad de Ensenada tenía 260,075 habitantes (INEGI, 2005), agrupados en 57,409 viviendas de 77 colonias (ITER, 2000). Las principales actividades económicas en la ciudad eran en el sector secundario y terciario con un 30.91% y 62.71% respectivamente. De acuerdo con el Catálogo ITER (2000) del INEGI, en Ensenada la población económicamente activa es del 37.87% y los estratos socioeconómicos se divide en 25.82% para el bajo, 51.87% medio y 22.31% alto.

Las comunidades de San Quintín y Vicente Guerrero se ubican a 195 km y 170 km hacia el sur de la ciudad de Ensenada (Figura 1). La precipitación total anual en la región oscila entre los 100 y 200 mm, con una temperatura media anual es de 16.61 °C y lluvias principalmente en diciembre y enero. En el 2005 la comunidad de San Quintín contaba con 19,800 habitantes, agrupados en 3,871 viviendas. Las principales actividades económicas eran en el sector primario y terciario con un 51.53% y 35.51% respectivamente. En el caso de Vicente Guerrero había 10,632 habitantes, agrupados en 2,362 viviendas y las principales actividades económicas eran en el sector primario y terciario con un 35.07% y 45.91% respectivamente (ITER, 2000). La principal actividad en estas comunidades es la producción agrícola, lo que provoca una población migratoria que fluctúa dependiendo de la época del año y la cantidad de trabajo en los campos agrícolas. El origen de esta población es principalmente de estados del sur de México (IMIP, 2007; SEDESOE, 2008).

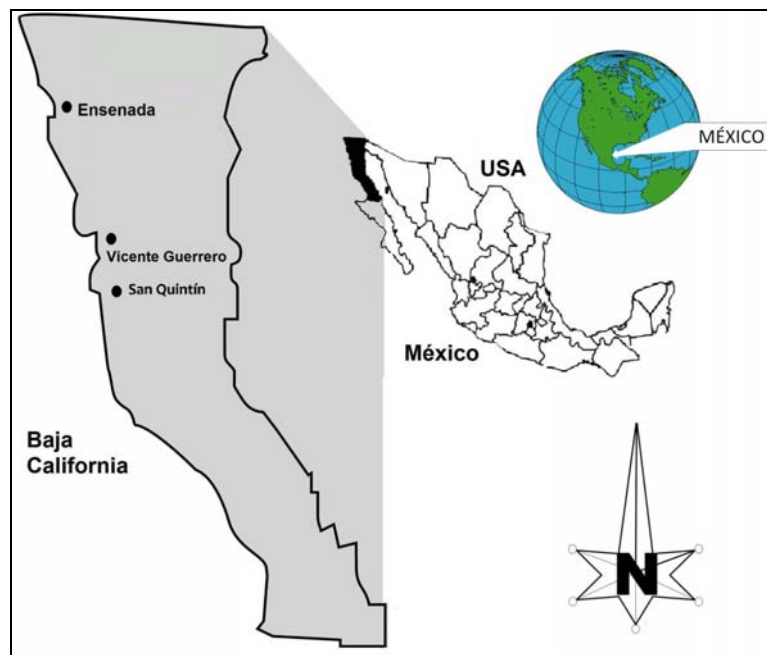


Fig. 1: Localización de los sitios de estudio en México

Estudio de Caracterización

Para determinar la generación y composición de los RSD, se pueden utilizar diferentes metodologías para la toma de muestras: puede ser a través de la recolección casa por casa o la toma de muestras directamente del camión recolector de basura. En este estudio se determinó tomar las muestras de los camiones recolectores

considerando que la recolección en las comunidades se realiza una vez por semana en cada ruta, por lo que los residuos recolectados por el sistema de recolección cada día representan la generación de una semana.

El primer análisis se hizo en la ciudad de Ensenada y el segundo en las comunidades de San Quintín y Vicente Guerrero, en junio y julio de 2009 respectivamente. El análisis de residuos se realizó durante 5 días consecutivos en cada comunidad debido a que las muestras se tomaron de los residuos recolectados por el sistema público de recolección y este servicio solo se presta de lunes a viernes. La duración de un estudio de caracterización de residuos puede variar. Diversas investigaciones reportan una duración desde una semana (Al-Khatib et al., 2007; Emery et al., 2003; Karousakis y Birol, 2008; Liu et al., 2008; Ojeda-Benitez et al., 2000), hasta meses (Buenrostro, 2001; Pappu et al., 2007; SEMARNAT, 2001a; Van Ha et al., 2004).

En la ciudad de Ensenada se tomaron las muestras por estrato socioeconómico (bajo, medio y alto). El criterio considerado para establecer los estratos de las colonias fue los salarios mínimos (SM, en el 2009 el salario mínimo en Ensenada fue de US\$ 4.5 por día). Se tomó como estrato bajo aquellas Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) en la que los ingresos eran de menos de uno y hasta dos SM. En estrato medio se consideró a las AGEB con ingresos de más de dos y hasta cinco SM. En el caso del estrato alto se consideró a las AGEB con ingresos de más de cinco SM. Se utilizó el software SCINCE (2000) del INEGI para identificar las AGEB y, con un mapa de la ciudad, se identificaron las colonias que pertenecen a cada AGEB.

Para seleccionar los residuos de acuerdo al estrato socioeconómico, se seleccionaron los camiones recolectores. Al llegar un camión recolector al sitio de disposición, se le preguntaba al chofer de qué ruta (colonia) procedían los residuos recolectados. Este dato se comparaba con la lista Colonias-AGEB realizada previamente y si se presentaba el estrato deseado para muestrear, se tomaban los residuos para realizar el estudio. Este procedimiento se realizó hasta obtener los residuos de cada estrato socioeconómico por día.

En San Quintín y Vicente Guerrero no fue necesario tomar muestras por estrato socioeconómico ya que de acuerdo al SCINCE (2000), en ambas poblaciones prevalece un mismo estrato socioeconómico (medio-bajo). En el caso de San Quintín, los datos de ésta incluyen a la comunidad Lázaro Cárdenas debido a que ambas comunidades son contiguas, emplean el mismo sistema de recolección y depositan sus residuos en el mismo vertedero.

En cuanto al tamaño de muestra, Tchobanoglous et al. (1994) explica que las muestras tomadas de 90 kg no varían significativamente de las tomadas en muestreos de hasta 770 kg, obtenidos de la misma carga de residuos. Sin embargo, en otras investigaciones realizadas por Jiménez (2002), Williams (1998) y Zeng et al. (2005), se menciona que las muestras tomadas para análisis pueden ser de entre los 90 y 180 kg. Por su parte, Chung y Poon (2001) reportan que los rangos de tamaño de muestras oscilan desde los 20 a 30 kg, los 90 kg, 100 a 200 kg hasta muestras de alrededor 5 a 7 toneladas de residuos domésticos por semana. En México, la norma mexicana NMX-AA-015-1985 (1985) propone muestras de 50 kg. En este estudio, las muestras empleadas para la cuantificación de componentes fueron de aproximadamente 100 kg por día, cantidad mayor a la propuesta en la norma mexicana NMX-AA-015-1985 (1985), pero acorde a otras investigaciones (Chung y Poon, 2001; Gidaracos et al., 2006; Tchobanoglous et al., 1994; Zeng et al., 2005).

Posteriormente se clasificaron los residuos de acuerdo al procedimiento modificado propuesto por Ojeda-Benitez et al. (2003) agrupándose en tres grandes categorías: 1) reciclables orgánicos, 2) reciclables inorgánicos, y 3) no reciclables (ver tabla 1). Se pesaron y se registraron los valores obtenidos. Los pesajes se realizaron in situ con una balanza electrónica Torrey EQB_50/100 de 50 kg con sensibilidad de 10 gr.

Con la finalidad de analizar y comparar el comportamiento de los residuos en localidades urbanas y rurales se desarrollaron pruebas de proporciones de los principales subproductos de las diferentes localidades. Se utilizó el programa MINITAB® 14.1 con un intervalo de confianza del 95%, utilizándose el estadístico z de la distribución normal.

Tabla 1: Categorías usadas para determinar la composición de los residuos

Reciclables orgánicos	
Residuos alimenticios	Cualquier tipo de residuos de alimentos
Papel y cartón	Revistas, periódicos, materiales de embalaje, papel de oficina, cajas, cartón corrugado, otros
Textiles	Algodón, cortinas, nailon, ropa usada, retazos de tela
Otros orgánicos	Madera, cuero, residuos de jardinería
Reciclable inorgánico	
Plástico ^a	PET, HDPE, PVC, LDPE, entre otros.
Vidrio	Vidrios claros, ámbar y verdes
Metales	Latas de los alimentos procesados y bebidas, materiales ferrosos y no ferrosos
Envases Tetrapack ^a	Envases de bebidas y alimentos procesados
Aluminio	Latas de aluminio, otros tipos de aluminio
Otros inorgánicos	Loza y cerámica, materiales de construcción
No reciclable	
Residuos sanitarios	Pañal desechable de niño y adulto, toallas sanitarias
Residuos fino	Tierra de jardín tierra, residuos finos que pasan el tamiz
Residuos electrónicos	Cualquier tipo de residuo electrónico doméstico
Varios	Residuos que no se ajustan a las categorías anteriores

^a La clasificación se realizó de acuerdo a su componente degradable.

Debido a la disponibilidad de información e infraestructura, para determinar las tasas de generación se utilizaron diferentes métodos en las tres comunidades. En Ensenada y San Quintín se determinó con base a la cantidad de residuos recolectados por el municipio durante las fechas del muestro y el número de habitantes. En Ensenada la información fue proporcionada por la Dirección de Servicios Públicos Municipales de la Secretaría de Administración Urbana del Gobierno Municipal de Ensenada. En San Quintín se pesaron los camiones recolectores antes y después de verter los residuos en el sitio de disposición final. En Vicente Guerrero no fue posible pesar los residuos debido a la falta de báscula. Sin embargo, considerando que los camiones que operan en esta comunidad presentan similitudes respecto a capacidad en m³ y condiciones mecánicas con un camión recolector que opera en San Quintín, se infirió el peso de los residuos respecto a este último. En las tres comunidades para el manejo de los datos y los cálculos estadísticos se empleó el programa MINITAB[®] 14.1 con un intervalo de confianza del 98%, utilizándose el estadístico t-student.

Se realizaron pruebas de hipótesis de proporciones para conocer con mayor certidumbre si existe realmente diferencia significativa entre diferentes poblaciones. Para ello, se distinguieron las poblaciones como p_1 la comunidad urbana (Ensenada), p_2 la comunidad rural (San Quintín), y p_3 la comunidad rural (Vicente Guerrero). Las hipótesis quedaron como sigue:

H_0 : No existe diferencia significativa entre las proporciones de los tipos de residuos (ver ecuación 1).

$$H_0 : p_1 = p_2 = p_3 \quad (1)$$

H_1 : Existe diferencia significativa entre las proporciones de los tipos de residuos (ver ecuación 2).

$$H_1 : p_1 \neq p_2 \neq p_3 \quad (2)$$

La prueba de hipótesis se estableció con un nivel de confianza del 95%. Para la prueba de verificación de hipótesis, se utilizó la diferencia entre proporciones (ver ecuación 3).

$$z = \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (3)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición de los residuos

Se pesaron en total 2,173.49 kg, de los cuales 1,131.69 eran de Ensenada, 537.35 de San Quintín y 504.45 de Vicente Guerrero. Cabe señalar que la composición de los RSD de Ensenada que se muestra es el resultado de la composición de los tres estratos socioeconómicos muestreados. En la tabla 2 se muestra la composición de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) de las tres comunidades. Como se puede observar en la Tabla 2, en las tres comunidades el que tiene un mayor porcentaje son los residuos reciclables orgánicos con un porcentaje mayor del 55%, siendo los residuos alimenticios los que cuentan con una mayor presencia. Los reciclables inorgánicos lo constituyen más del 21% restante, con el porcentaje más alto en los plásticos, siendo del 12% a 16%.

Tabla 2: Composición de residuos

Tipo de residuo	Porcentaje		
	Ensenada	San Quintín	Vicente Guerrero
Reciclable orgánico			
• Residuos alimenticios	39.15	25.81	24.40
• Papel y cartón	21.59	16.47	15.98
• Textiles	5.84	10.78	5.59
• Otros orgánicos	3.77	8.06	11.45
Reciclable inorgánico			
• Plástico	12.12	15.95	15.99
• Vidrio	5.24	2.57	3.46
• Metales	1.65	1.74	1.53
• Envases asépticos	0.50	0.48	0.35
• Aluminio	0.46	0.65	0.56
• Otros inorgánicos	2.00	3.73	1.72
No reciclable			
• Residuos sanitarios	4.23	10.25	14.09
• Residuos fino	1.86	3.30	4.17
• Residuos electrónicos	0.45	0.13	0.66
• Varios	1.14	0.08	0.05

En la ciudad de Ensenada, del total de residuos sólidos cuyo destino es el relleno sanitario (RESA), el 92.32% tiene un potencial de aprovechamiento y solamente el 7.68% tendría que disponerse en este sitio si se contaran con las estrategias de separación de residuos necesarias para recuperar ese residuos. Sin embargo, en el RESA no se cuenta con la infraestructura necesaria para separar y reciclar los residuos, ni se permite la recuperación de los residuos dentro de las instalaciones por los "pepenadores", por los materiales valiosos son completamente desaprovechados. El reciclaje solamente se realiza desde el momento en que los residentes depositan sus residuos en los contenedores de las aceras hasta el momento en que son depositados en el RESA por el municipio. El porcentaje aprovechable se compone del 76.20% residuos orgánicos reciclables y el 23.80% residuos inorgánicos reciclables, de los cuales se podrían obtener beneficios económicos y ambientales.

En el caso de San Quintín y Vicente Guerrero los porcentajes de los residuos con potencial de aprovechamiento son de 86.24 y 81.03 % respectivamente. En estas comunidades, el Departamento de Aseo y Limpia no cuenta con infraestructura necesaria para recuperar los materiales valiosos contenidos en los residuos. Sin embargo, debido a la presencia de pepenadores en los vertederos de estas comunidades, la cantidad de residuos que se desaprovechan es menor. Estas personas recuperan materiales que pueden comercializar en sus comunidades, tal como metales, aluminio, papel y cartón, plásticos y vidrio. De acuerdo a Gutiérrez (2006), se estima que en México los materiales recuperados para su venta representan del 8% al 12% del total generado.

En la Figura 2 se observa que los principales componentes de los residuos sólidos en los tres sitios son los residuos alimenticios, papel y cartón y plástico, por lo que aplicar estrategias para su reutilización o minimización en la fuente traería importantes beneficios como: (a) reducción en los costos de recolección de residuos y menor desgaste vehicular de los camiones recolectores; (b) menor emisión de gases de efecto de invernadero por recolección de residuos; (c) creación de fuentes de empleo bajo mejores condiciones de seguridad social; (d) menor depredación de los recursos naturales. Una estrategia que puede emplearse es la de Cero Residuos que de acuerdo a Young et al. (2009) consiste en una filosofía que busca orientar a las personas en la remodelación de su patrón de uso de los recursos con el objetivo final de reducir los residuos a cero. Esto maximiza el reciclaje, reduce al mínimo los desechos, reduce el consumo y garantiza que los productos están hechos para ser reutilizados, reparados o reciclados en la naturaleza o en el mercado sin ser desechados o desperdiciados.

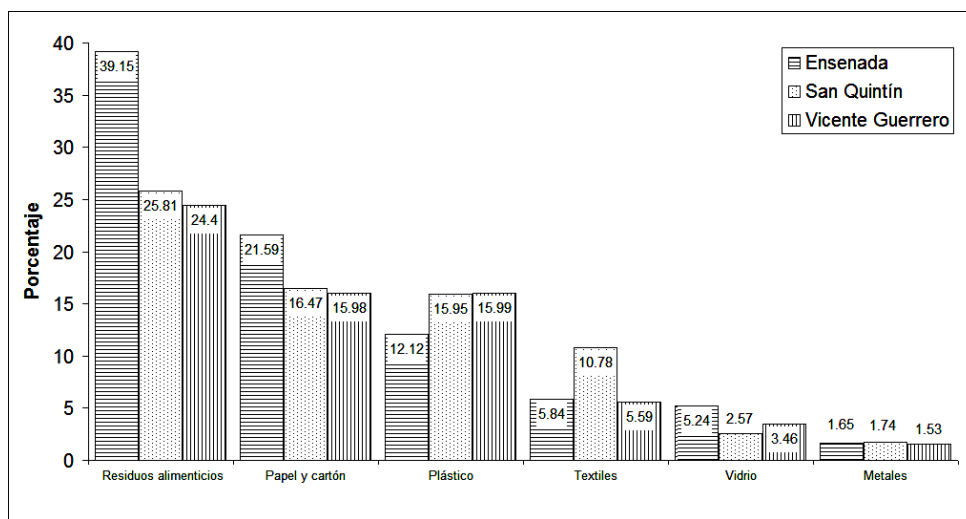


Fig. 2: Componentes con potencial de comercialización en las zonas de estudio

Existen diferencias muy marcadas en algunos componentes de los residuos, esto a pesar de ser comunidades tan cercanas. Los mayores contrastes en la composición de los residuos de las diferentes comunidades se presentan en los reciclables orgánicos, en los reciclables inorgánicos se presenta un contraste menos marcado en los plásticos, y en los no reciclables la mayor diferencia se puede observar en los residuos sanitarios. Los residuos categorizados como reciclable orgánicos son mayores en Ensenada (comunidad urbana) en un 10% aproximadamente a diferencia de las comunidades rurales. Esta diferencia en el porcentaje radica principalmente en los residuos alimenticios y el papel y cartón, resaltando los residuos alimenticios con aproximadamente un 15% mayor en la comunidad urbana. En el caso de los no reciclables, los porcentajes más altos son los residuos sanitarios, en donde, la diferencia de porcentajes va de un 6 a un 10% aproximadamente.

En la prueba de proporciones, se encontró que para los casos en los que se comparó Ensenada contra San Quintín y Ensenada contra Vicente Guerrero existe una diferencia significativa muy marcada, por lo que se puede mencionar que dichos residuos sólidos no son iguales en las comunidades urbanas y rurales. Esto a excepción del vidrio, donde se muestra que no existe diferencia significativa, por lo que la generación de vidrio son iguales en ambas comunidades. En el caso de la comparación de las comunidades rurales se puede apreciar que no existe diferencia significativa entre ellas (ver tabla 3).

Esto concuerda con lo mencionado en diferentes investigaciones, respecto a que la composición de los RSD en México no es homogénea, sino que responde a la distribución de hábitos de consumo y poder adquisitivo de la población (Aguilar et al., 2010; Buenrostro, 2001; Ojeda, 2006; Taboada et al., 2009).

Tabla 3: Clasificación de residuos.

Tipo de residuo	Estadístico de prueba			Valor crítico
	ρ_1 vs ρ_2	ρ_1 vs ρ_3	ρ_2 vs ρ_3	
Residuos alimenticios	$z = 5.56$	$z = 6.13$	$z = 0.55$	
Papel y cartón	$z = 2.57$	$z = 2.69$	$z = 0.14$	
Plástico	$z = -2.11$	$z = -2.09$	$z = -0.02$	± 1.96
Vidrio	$z = 2.73$	$z = 1.77$	$z = -0.72$	
Residuos sanitarios	$z = -4.17$	$z = -5.93$	$z = -1.90$	

Generación de residuos

La generación per cápita de los RSD recolectados en las fechas de muestreo se estimó para Ensenada en 0.979 ± 0.393 kg/día-hab (ver ecuación 1 y 2), en donde gpc_m representa la media y gpc_l los límites de tolerancia. Dicho valor es muy similar a lo estimado por la SEMARNAT (2001b) para Ensenada en el 2010 de 1.3837 kg/día-hab.

$$gpc_m = \left[\frac{254857 \text{ kg/día}}{260075 \text{ hab}} \right] = 0.979 \frac{\text{kg}}{\text{día} \times \text{hab}} \tag{1}$$

$$gpc_l = \left[\frac{102234 \text{ kg/día}}{260075 \text{ hab}} \right] = 0.393 \frac{\text{kg}}{\text{día} \times \text{hab}} \tag{2}$$

En San Quintín la generación per cápita que se obtuvo fue de 0.732 ± 0.077 kg/día-hab (ver ecuación 3 y 4). Estos valores son menores a los reportados para Ensenada (0.500 kg aproximadamente), una explicación a ello, es que en San Quintín se concentra una importante población inmigrante proveniente principalmente de los estados del Sinaloa, Michoacán y Oaxaca, por lo que de acuerdo a esto, el valor estimado per cápita es consistente con la media propuesta por SEDESOL (2006), de 0.784 kg en promedio para esas zonas.

$$gpc_m = \left[\frac{14490 \text{ kg/día}}{19800 \text{ hab}} \right] = 0.732 \frac{\text{kg}}{\text{día} \times \text{hab}} \tag{3}$$

$$gpc_l = \left[\frac{10608.75 \text{ kg/día}}{19800 \text{ hab}} \right] = 0.077 \frac{\text{kg}}{\text{día} \times \text{hab}} \tag{4}$$

En el caso de Vicente Guerrero, la generación de residuos se hizo considerando las características de un camión recolector que opera en San Quintín, estimándose en 1.171 ± 0.181 kg/día-hab (ver ecuación 5 y 6). Dicho valor es consistente con la media propuesta por SEDESOL (2006) de 1.048 kg/día-hab para la frontera norte. Este comportamiento puede presentarse porque de acuerdo al IMIP (2007): a) esta delegación presenta mayor población económicamente activa; y b) el 76.3% de la población percibe ingresos entre 1 y 5 salarios mínimos.

$$gpc_m = \left[\frac{12446 \text{ kg/día}}{10632 \text{ hab}} \right] = 1.171 \frac{\text{kg}}{\text{día} \times \text{hab}} \tag{5}$$

$$gpc_l = \left[\frac{1923 \text{ kg/día}}{10632 \text{ hab}} \right] = 0.181 \frac{\text{kg}}{\text{día} \times \text{hab}} \tag{6}$$

En contraste con las estimaciones encontradas en el presente estudio, en otro municipio fronterizo de México se reportan un valor inferior, Ojeda-Benitez et al. (2003) menciona que la generación per cápita media en Mexicali es de 0.592 kg/día-hab. Esto se puede deber a que el periodo de la muestra de ese estudio fue tomada fue en dos etapas: 1) de Mayo a Junio de 1999 y 2) de Marzo a Abril de 2000, el estudio se realizó casa por casa, aunado a que los patrones de consumo han cambiado a lo largo de estos 9-10 años.

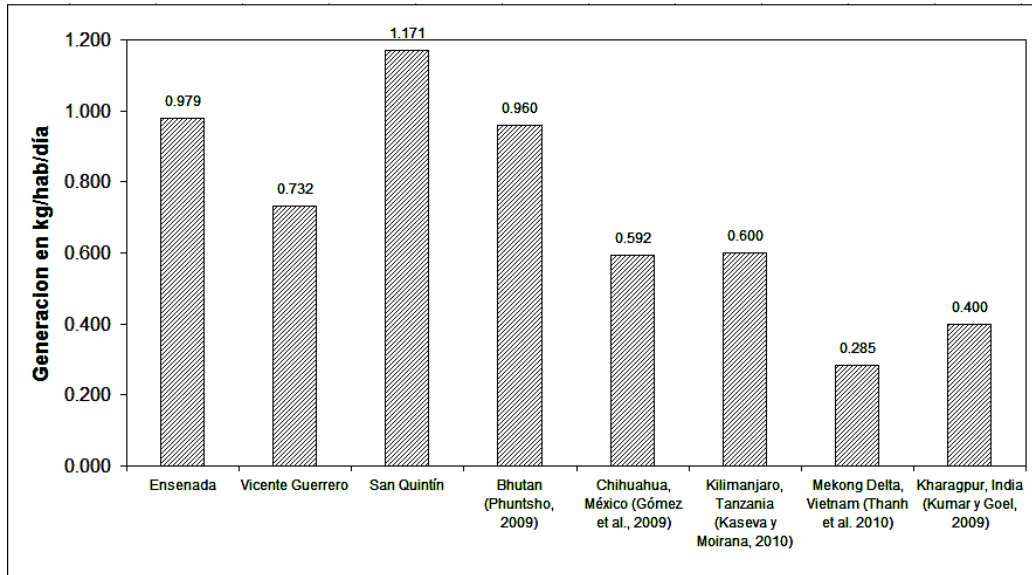


Fig. 3: Generación de residuos sólidos

CONCLUSIONES

Los resultados presentados corresponden a una temporada en cada comunidad, por lo que su aplicación en otros ambientes debe hacerse con las debidas consideraciones. Además, la generación de residuos y su composición no pueden ser extrapolados directamente a otras comunidades urbanas o rurales como se mostro en este estudio, a pesar de pertenecer a un mismo municipio o estar a una distancia cercana. Las diferencias en las actividades económicas, composición de la población y el nivel de conciencia ambiental, entre otros, influyen en el tipo de bienes adquiridos y, por tanto, en el tipo de residuo generado y en las cantidades de residuos.

Aunque los valores de generación solo corresponden a una temporada, se observa que la generación de residuos sólidos en los sitios de estudio son superiores a los reportados en otros estudios realizados en países en desarrollo (ver Figura 3). La cercanía de las comunidades estudiadas con Estados Unidos de América (USA) puede estar influyendo en el comportamiento de consumo de los habitantes. Otros factores como el Producto Interno Bruto (PIB), clima, religión, tipo de muestreo realizado y la cantidad de residuos analizados entre otros, pudieran explicar esta diferencia.

La composición y generación de residuos obedece a diversas variables, por lo que para poder generalizar estos parámetros en zonas rurales y urbanas en una región es necesario contar con más estudios de caracterización. En el presente estudio se aprecio que la composición de los residuos en zonas urbanas difiere significativamente de zonas rurales, por lo que los programas de reducción de residuos, los programas de educación ambiental y la búsqueda de la optimización de equipo de recolección, debe ser acorde a la zona.

La inexistencia de datos de generación y composición de residuos en la zona, impide la comparación de los datos generados en este estudio. Sin embargo, esta información puede servir de referencia para futuros estudios, lo que permitirá observar el comportamiento de la generación de residuos sobre el tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado a los autores; al Biol. Víctor Arenas por la información brindada; al Ing. Jorge Aldama por su apoyo en las comunidades de San Quintín y Vicente Guerrero y al Dpto. de Aseo y Limpia de la ciudad de Ensenada por las facilidades para la realización de este estudio.

REFERENCIAS

Aguilar, Q.; Taboada, P.; Armijo, C.; Ojeda, S.; Aguilar, X. (2010); *Proyección de la generación de residuos sólidos urbanos. Caso de estudio: Ensenada, Baja California*. Proceedings of the 3er. Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Ciudad de México, México, pp. 1-8.

Al-Khatib, I.A., Arafat, H.A.; Basheer, T.; Shawahneh, H., Salahat, A.; Eid, J.; Ali, W. (2007); *Trends and problems of solid waste management in developing countries: A case study in seven Palestinian districts*, Waste Management: 27(12), 1910-1919.

Ayininuola, G.M.; Muibi, M.A. (2008); *An engineering approach to solid waste collection system: Ibadan North as case study*. Waste Management: 28(9), 1681-1687.

Buenrostro Delgado, O. (2001); *Los residuos sólidos municipales. Perspectivas desde la investigación multidisciplinaria*, 1º ed. México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 199p.

Buenrostro, O.; Bocco, G. (2003); *Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives*, Resources, Conservation and Recycling: 39(3), 251-263.

Chung, S.; Poon, C. (2001); *Characterisation of municipal solid waste and its recyclable contents of Guangzhou*, Waste Management Research: 19(6), 473-485.

Emery, A.D., Griffiths, A.J.; Williams, K.P. (2003); *An in depth study of the effects of socio-economic conditions on household waste recycling practices*, Waste Management Research: 21(3), 180-190.

Gidarakos, E.; Havas, G; Ntzamilis, P. (2006); *Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete*, Waste Management: 26(6), 668-679.

Gutiérrez, V. (2006); *Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos* 1st ed. Instituto Nacional de Ecología. Disponible en: http://www.ine.gob.mx/publicaciones/descarga.html?cv_pub=495&tipo_file=pdf&filename=495.

Hiramatsu, A.; Hara, Y.; Sekiyama, M.; Honda, R.; Chiemchaisri, C. (2009). *Municipal solid waste flow and waste generation characteristics in an urban--rural fringe area in Thailand*. Waste Management & Research: 27(10), 951-960.

IMIP (2007); Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada; Programa de Desarrollo Regional "Región San Quintín", Ensenada, B.C. México, 162p.

INEGI (2005); Censo de Población y Vivienda 2005, [online] Available from: http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/default.aspx?c=10395&s=est (Accedido 11 Diciembre 2008).

ITER (2000); Integración territorial del censo de Población y Vivienda, [online] Disponible en: <http://sigsalud.insp.mx/naais/metabase/siden/layout3.html> (Accedido 16 Mayo 2010).

Jiménez Cisneros, B.E. (2002); *La contaminación ambiental en México*, 1º ed. México, Limusa, 926p.

Karousakis, K.; Birol, E. (2008); *Investigating household preferences for kerbside recycling services in London: A choice experiment approach*, *Journal of Environmental Management*: 88(4), 1099-1108.

LGP GIR (2003); *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, Última reforma publicada DOF 19 de junio de 2007, México, 42p. [online] Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Leyes%20del%20sector/LEY%20GENERAL%20PARA%20LA%20PREVENCION%20Y%20GESTION%20INTEGRAL%20DE%20LOS%20RESIDUOS_%20C3%9A%20REFORMA%2019_JUN_2007.pdf (Accedido 15 Octubre 2008).

Liu, H., Ni, W.; Li, Z.; Ma L. (2008); *Strategic thinking on IGCC development in China*, *Energy Policy*: 36(1), 1-11.

NMX-AA-015-1985 (1985); *Norma Mexicana NMX-AA-015-1985*, Norma Mexicana, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Muestreo-Método de Cuarteo, México, 1-8.

Ojeda Benitez, S. (2006); *El consumo como fuente de generación de basura y contaminación*. En *Contaminación y medio ambiente en Baja California*, (M. Quintero Nuñez, eds.) pp. 227-249, Universidad Autónoma de Baja California y Miguel Ángel Porrúa, librero-editor, México.

Ojeda-Benitez, S., Armijo de Vega, C.; Ramirez-Barreto, M.E. (2000); *The potential for recycling household waste: a case study from Mexicali, Mexico*, *Environment and Urbanization*: 12(2), 163-173.

Ojeda-Benitez, S., Armijo-de Vega, C.; Ramirez-Barreto, M.E. (2003); *Characterization and quantification of household solid wastes in a Mexican city*, *Resources, Conservation and Recycling*: 39(3), 211-222.

Pappu, A., Saxena, M.; Asolekar, S.R. (2007); *Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials*, *Building and Environment*: 42(6), 2311-2320.

Phuntsho, S.; Dulal, I.; Yangden, D.; Tenzin, U.M.; Herat, S.; Shon, H. (2009); *Studying municipal solid waste generation and composition in the urban areas of Bhutan*. *Waste Management & Research*: 28(6), 545-551.

Philippe, F.; Culot, M. (2009); *Household solid waste generation and characteristics in Cape Haitian city, Republic of Haiti*. *Resources, Conservation and Recycling*: 54(2), 73-78.

SCINCE (2000); *Sistema para la Consulta de Información Censal*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

SEDESOL (2008); *Microregiones* [online] Disponible en: <http://www.bajacalifornia.gob.mx/sds/microregiones.htm> (accedido el 3 de diciembre de 2009).

SEDESOL (2006); *Situación actual en el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)*, SEDESOL, Ciudad de México, México, 27p.

SEMARNAT (2001a); *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales*, 1º ed., México, 198p.

SEMARNAT (2001b); *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*, 1º ed., México, 235p.

SEMARNAT (2008); *Compendio de Estadísticas Ambientales 2008*, [online] Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/cd_compendio08/compendio_2008/03_residuos1.html (Accedido 17 Marzo 2009).

Shah, K.L. (2000); *Basics of Solid and Hazardous Waste Management Technology*, 1º ed. United States of America, Prentice Hall, 534p.

Taboada, P.; Armijo, C.; Aguilar, Q.; Ojeda, S.; Aguilar, X. (2009); *Métodos para la determinación de generación de residuos en comunidades rurales*. Proceedings of the II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, REDISA, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, pp. 554-560.

Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Vigil, S. (1994); *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, 1º ed. Madrid, España, McGraw-Hill, 1107p.

Van Ha, N., Kant S.; MacLaren V. (2004); *The Contribution of Social Capital to Household Welfare in a Paper-Recycling Craft Village in Vietnam*, *The Journal of Environment Development*: 13(4), 371-399.

Vuai, S.A.H. (2010); *Characterization of MSW and related waste-derived compost in Zanzibar municipality*. *Waste Management & Research*: 28(2), 177 -184.

Williams, P.T. (1998); *Waste Treatment and Disposal*, 1º ed., John Wiley & Sons, England, 380p.

Young, C.; Ni, S.; Fan, K. (2009). *Working towards a zero waste environment in Taiwan*. *Waste Management & Research*: 28(3), 236-244.

Zeng, Y.; Trauth, K.M.; Peyton, R.L.; Banerji, S.K. (2005); *Characterization of solid waste disposed at Columbia Sanitary Landfill in Missouri*, *Waste Management & Research*: 23(1), 62-71.