

Potencial de recuperación de residuos sólidos domésticos dispuestos en un relleno sanitario

Potential Recovery of Domestic Solid Waste Disposed of in a Landfill

Quetzalli Aguilar-Virgen^a, Carolina Armijo-de Vega^b, Paul Taboada-González^c,
Xochitl M. Aguilar^d

PALABRAS CLAVES

Composición de residuos, reciclaje, relleno sanitario, residuo sólido doméstico.

RESUMEN

Conocer las cantidades y tipos de residuos sólidos domésticos (RSD) que son depositados en el relleno sanitario, brinda la posibilidad de proponer opciones sustentables para su aprovechamiento. Los residuos de cualquier localidad manejados de forma apropiada se pueden convertir en insumos de algún otro proceso. El objetivo de este estudio fue cuantificar los componentes de los RSD susceptibles de ser reciclados, depositados en el relleno sanitario de la ciudad de Ensenada (Baja California, México), para ser valorizados en el mercado de los reciclables. En promedio se podrían comercializar semanalmente 643.67 toneladas de residuos alimenticios para composta, 389.45 toneladas de papel y cartón, 217.55 toneladas de plástico, 78.81 toneladas de vidrio, 37.20 toneladas de metales y 8.11 toneladas de aluminio. Se obtendría en total un aproximado de MXP \$911,224.18 (USD \$ 71,693.48) por la comercialización de los principales reciclables.

KEY WORDS

Domestic Solid Waste, landfill, recycling, waste composition.

ABSTRACT

Knowing the amount and type of Domestic Solid Waste (DSW) that is deposited in the landfill gives us the possibility to consider options in how to make sustainable use of it. Waste from any location, if properly handled, can be turned into the raw material for other processes. The aim of this study was to quantify the components of the DSW likely to be recycled, deposited in the landfill in the city of Ensenada, Baja California, Mexico, so that they could be valued on the market as recyclables. The average weekly market could be 643.67 tons of food waste for composting, 389.45 tons of paper and cardboard, 217.55 tons of plastic, 78.81 tons of glass, 32.20 tons of metal and 8.11 tons of aluminum. This should result in a total of approximately MXP \$ 911,224.18 (USD \$ 71,693.48) for the marketing of major recyclables.

-
- a M.Sc. Estudiante de Doctorado en Ciencias e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California, México. Profesora e investigadora, Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California, México. ✉ gaguilar@uabc.edu.mx
- b Ph.D. Profesora-Investigadora, Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California, México. ✉ carmijo@uabc.edu.mx
- c M.Sc. Estudiante de Doctorado en Ciencias e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California, México. Profesor-Investigador, Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California, México. ✉ ptaboada@uabc.edu.mx
- d Ingeniera Industrial. Profesora-Investigadora, Instituto Tecnológico de Tijuana. Tijuana, Baja California, México. ✉ xmaguilar@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano ha causado un incremento en la generación de residuos domésticos, de manejo especial¹ e industriales no peligrosos. Dichos residuos son acumulados en los sitios de disposición final; los cuales, sin un manejo apropiado, pueden producir problemas de contaminación de aire, agua y suelo, así como de salud pública.

En general, los países en desarrollo desconocen las cantidades y tipos de residuos sólidos (RS) que son recolectados, la cantidad reciclada y la recuperada, la inadecuada selección de sitios de disposición final, así como los programas ineficientes de reutilización y reciclaje [1, 2 y 3]. Por esta razón, es muy importante conocer la generación y composición de los residuos sólidos.

Para determinar la generación y composición de los residuos sólidos domésticos (RSD), se pueden utilizar diferentes metodologías para la toma de muestras: a través de la recolección casa por casa o la toma de muestras directamente del camión recolector de basura [4, 5, 6, 7, 8 y 9]. En cuanto al tamaño de muestra, Tchobanoglous et al. [4] 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 [10], Zeng et al. [5] y Gidaracos et al. [11], se menciona que las muestras tomadas para análisis pueden ser de entre los 90 y 180 kg. En México, la norma mexicana NMX-AA-015-1985 [12] propone muestras de 50 kg. En cuanto a la duración del estudio, diversas investigaciones reportan una duración desde una semana [5, 11, 13, 14 y 15], hasta meses [7, 8, 16 y 17].

En México, son pocas las ciudades que han cuantificado los RS; de hecho, los estudios para determinar la generación de residuos están enfocados principal-

mente a los RSD [8, 9, 13, 18 y 20]. Algunos RSD de cualquier localidad manejados de forma apropiada se podrían reutilizar o convertir en insumos de algún otro proceso. De esta manera, lo que al final se vertiera en los sitios de disposición final sería una cantidad menor.

Los programas de manejo de residuos deben estar fundamentados en el conocimiento de la composición de residuos y las condiciones de los mercados de los reciclables [21]. Es importante tener en cuenta dichos aspectos y no adoptar y basarse exclusivamente en las experiencias de otras localidades, ya que esto podría ocasionar que el programa no funcione, lo que desincentivaría a la sociedad y generaría pérdidas económicas por las campañas realizadas, mano de obra y equipo subutilizado.

Diversas investigaciones muestran el potencial de reciclaje de los RS, sobre todo en países industrializados donde existen legislaciones y regulaciones gubernamentales más controladas e incentivos económicos, así como una mayor conciencia ambiental. Estos estudios se han realizado desde diferentes puntos de vista, que pueden ser el valor de los reciclables en el mercado y los beneficios ambientales. Se han utilizado diferentes metodologías: la toma de muestras casa por casa, la toma directa de los camiones recolectores o de los contenedores de reciclaje de casas, la diferente duración de muestreos que van de semanas a meses y las diferentes formas de clasificar los residuos. Algunos utilizan el método de experimento de elección y/o entrevistas. Otros buscan conocer la eficiencia de recolección, clasificando el potencial de acuerdo con los índices demográficos [5, 6, 7 y 16].

Por otra parte, también se han realizado investigaciones en países en desarrollo, en las que se busca impulsar más este tipo de estrategias de manejo de residuos. Estos estudios abarcan los residuos sólidos

1 La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en México define a los residuos de manejo especial como “aquéllos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos”.

universitarios, los RSD, las investigaciones desde el punto de vista de capital social y la evaluación del ciclo de vida; todos ellos llevados a cabo con diferentes metodologías [8, 9, 17, 18, 21 y 22].

El objetivo de este estudio es cuantificar los componentes de los RSD susceptibles de ser reciclados y depositados en el relleno sanitario de la ciudad de Ensenada (Baja California, México), para ser valorizados en el mercado de los reciclables.

Se debe señalar que la cantidad de residuos que podrían cuantificar para ser reciclados en la ciudad sería mayor. Sin embargo, no estaba en el alcance de esta investigación lo que se separa en diversas fuentes generadoras y aquello que es llevado por los usuarios a centros de acopio o lo que se recupera en los contenedores y/o camiones de recolección, debido a que lo que se busca es saber cuánto se podría aprovechar de lo que se vierte en los sitios de disposición final.

MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN ENSENADA (BAJA CALIFORNIA, MÉXICO)

El sistema de gestión de residuos de Ensenada corresponde a 3 etapas: 1) la generación, 2) el barrido y la recolección mixta, y 3) la disposición final.

Los residuos sólidos urbanos generados en Ensenada son principalmente depositados en el relleno sanitario (RESA) de la ciudad; una pequeña cantidad es reciclada desde las fuentes generadoras y son llevadas al centro de acopio de compañías particulares, ya sea para vender dichos residuos o simplemente para apoyar estas iniciativas; también existen algunos programas de reciclaje por parte del gobierno.

El barrido es realizado por el municipio y puede ser manual (zonas turísticas y centro de la ciudad) o mecánico (calles y avenidas principales). Los RSD son llevados al sitio por camiones recolectores del ayuntamiento de Ensenada, así como por empresas particulares. Los residuos de manejo especial y los industriales no peligrosos son recolectados y trasladados

al relleno sanitario por empresas: i) particulares generadoras y ii) privadas dedicadas a la recolección de residuos. La frecuencia de recolección por parte del ayuntamiento de Ensenada varía de acuerdo al sector de la ciudad atendido: una vez por semana (1/7) en la mayoría de las rutas de recolección (cada vez que se recolectan residuos en algún domicilio, éstos corresponden a la generación de una semana); en otros casos, como el de la zona céntrica de la ciudad, la recolección es diaria (7/7). En el caso de los recolectores particulares, la frecuencia de la recolección y la disposición en el relleno sanitario varía de acuerdo a las necesidades de sus clientes.

La disposición final de los residuos está concesionada a una compañía particular. Los residuos que llegan al RESA se vierten directamente en las celdas de confinamiento, no tienen ningún tipo de tratamiento y no existen mecanismos de recuperación o reciclaje, ni siquiera por parte de recicladores ya que tienen restringido el acceso al sitio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Ensenada, cabecera municipal del municipio del mismo nombre en el Estado de Baja California, ubicado al noroeste de México. Este municipio, con sus 52,510.712 km² de superficie, representa el 74.84% de la superficie del estado de Baja California y 2.6% de la superficie del país, por lo que es el municipio de mayor extensión en México. La ciudad se encuentra ubicada a los 31°52' de latitud norte y los 116°36' de longitud oeste. La precipitación total anual 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 habitantes², agrupados en 57,409 viviendas de 77 colonias (barrios)³. Las principales actividades económicas en la ciudad eran en el sector secundario y terciario

2 INEGI, "Censo de Población y Vivienda 2005", 2005.

3 ITER, "Integración territorial del censo de Población y Vivienda", 2000

con un 30.91% y 62.71% respectivamente. De acuerdo con el Catálogo ITER³ del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), en Ensenada la población económicamente activa es del 37.87% y los estratos socioeconómicos se dividen en 25.82% para el bajo, 51.87% medio y 22.31% alto.

ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RSD

El estudio de caracterización se llevó a cabo en el relleno sanitario (RESA) de la ciudad de Ensenada, durante 5 días seguidos los meses de febrero y junio de 2009. Los residuos analizados fueron los depositados en el relleno sanitario por los camiones recolectores municipales, que se caracterizan por estrato socioeconómico (bajo, medio y alto). Para elegir el camión recolector se indagó con los conductores de qué ruta (colonia) procedían los residuos recolectados; esto se realizó hasta obtener el primer camión de cada estrato socioeconómico por día, durante los 10 días.

Para la elección de colonias de cada estrato se tomó como referencia el Área Geoestadística Básica

(AGEB's)⁴; ésta es la estratificación que maneja el INEGI en los Censos de Población y Vivienda del año 2000. El criterio considerado para establecer los estratos de las colonias fue los salarios mínimos devengados (SM; en el 2009 el salario mínimo en Ensenada fue de aproximadamente US\$4.5 por día). Quedando como estrato bajo aquellas AGEB's en la que los ingresos eran de menos de uno y hasta dos SM. En estrato medio se consideró a las AGEB's con ingresos de más de dos y hasta cinco SM. En el caso del estrato alto se consideró a las AGEB's con ingresos de más de cinco SM. Se utilizó el software SCINCE⁵ del INEGI para identificar a las AGEB's.

Ya elegido el camión recolector, se tomaron aproximadamente 90 kg por día de muestreo, por cada estrato socioeconómico y por camión (un total de 29 muestras, debido a que el último día de muestreo no llegaron camiones de estrato alto), cantidad mayor a la propuesta en la norma mexicana NMX-AA-015-1985, pero acorde a otras investigaciones [4, 5, 10, 11]. Se separaron y clasificaron los residuos de

Reciclables orgánicos	
Residuos alimenticios	Cualquier tipo de residuos de alimentos.
Papel y cartón	Revistas, periódicos, libros, 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.
Reciclables inorgánicos	
Plástico ^a	PET, HDPE, LDPE, PP, entre otros.
Vidrio	Vidrios claros, ámbar y verdes.
Metales	Latas de los alimentos procesados y bebidas, materiales ferrosos y no ferrosos.
Envases Tetra pak® ^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, 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 biodegradable

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

4 Las unidades geográficas que se clasifican son grupos de manzanas que reciben el nombre de AGEB's.

5 SCINCE, "Sistema para la Consulta de Información Censal", 2000.

acuerdo al procedimiento modificado propuesto por Ojeda-Benítez et al. [8] y se agruparon 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.

Posteriormente, se calculó el potencial de los reciclables que se están desaprovechando en términos de toneladas semanales. En el aspecto económico, se realizó un cálculo considerando el valor en el mercado, cuyos precios de compra manejados fueron el promedio otorgado por los diferentes centros de acopio y recicladores de la región. Cabe resaltar que en este aspecto sólo se obtuvieron los precios de compra de los siguientes subproductos: papel y cartón, plásticos, vidrio, metales, aluminio. A pesar que los envases asépticos son reciclados en la Ciudad de México, no se pudo obtener el precio de compra, debido a que en la región éstos no son reciclados. Los residuos alimenticios tampoco son vendidos a terceros, sin embargo, pueden ser comercializados por el propio municipio para la elaboración de composta.

DETERMINACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RSD

La Ecuación 1 muestra cómo se determinó la generación de residuos de acuerdo con el método indirecto propuesto por la SEMARNAT [19].

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

Con la finalidad de proporcionar una mayor precisión en las tasas de generación, se utilizaron los datos de los pesajes diarios de los camiones recolectores del ayuntamiento de Ensenada del 23 de febrero al 1 de marzo (primer semana del muestreo) y del 22 al 28 de junio (segunda semana del muestreo), así como el número de habitantes. Dicha información fue proporcionada por la Dirección de Servicios Públicos Municipales de la Secretaría de Administración

Urbana del Gobierno Municipal de Ensenada. Para la estimación per cápita, se consideró una población total de 260,075 habitantes. Se empleó el programa MINITAB® 14.1 con un intervalo de confianza del 98%, el cual se basó en muestras de 14 días y utilizó el estadístico t-student. Además, para conocer la precisión de la estimación, se determinó el error estándar muestral de acuerdo con la Ecuación 2. Por último, se determinó el error estándar muestral per cápita.

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

COMPOSICIÓN DE LOS RSD

Se pesaron en total 2,510.82 kg, de los cuales 850.35 kg eran del estrato bajo, 844.69 kg del estrato medio y 815.78 kg del estrato alto. Los resultados obtenidos reportan un alto porcentaje de residuos que pueden ser reciclados, el 90.79% (ver Figura 1). De acuerdo con Wehenpohl y Ambrosius [23], dos terceras partes de los residuos que se generan pueden ser reciclados, lo cual incluye a los materiales biodegradables e inorgánicos. Dichos autores mencionan que México tiene un gran potencial en reciclaje pero que éste ha sido poco apoyado por las leyes del país; por tanto, sólo se aprovecha entre el 2% y el 5% de los materiales reciclables. Esto, a pesar que desde el 2004 en México entró en vigor la Ley General para la Prevención y Gestión integral de los Residuos Sólidos (LGPGIRS)⁶, la cual obliga a los generadores⁷ de residuos a minimizar la generación de los mismos y a valorizarlos y a gestionarlos de una manera integrada. A pesar de ello, a la fecha existe una carencia de estudios sobre reciclaje en México.

El porcentaje aprovechable se compone del 75.51% residuos orgánicos reciclables y el 24.49% residuos inorgánicos reciclables, de ellos se podrían obtener beneficios económicos y ambientales. Sin embargo,

6 LGPGIR, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, México: 2003.

7 La LGPGIRS define a los generadores como “personas físicas o morales que produce residuos, a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo”.

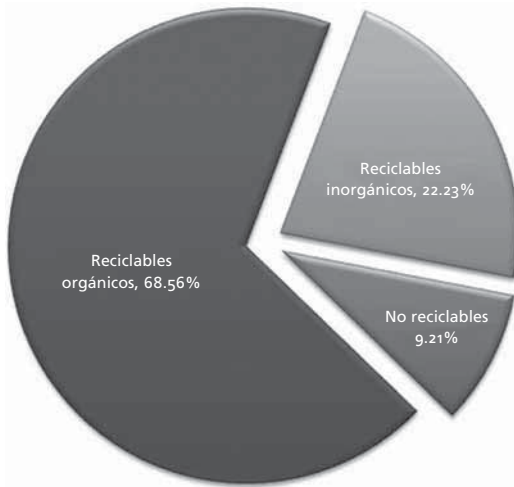


Figura 1. Porcentajes de residuos reciclables y no reciclables

en un estudio realizado en Mexicali en 1998 por Ojeda et al. [9], se encontró que el total de residuos por reciclar es de 86.69%, del cual el 67.00% son residuos orgánicos reciclables y el 33.00% son residuos inorgánicos reciclables. Dichas cantidades son menores a la presente investigación; en cuanto a la cantidad total que se podría reciclar, se encuentra aproximadamente 4 puntos porcentuales abajo. En otro estudio realizado en la misma ciudad, pero en el año 2000 por Ojeda et al. [8], se encontró que el total de residuos que se podrían reciclar es de 71%, del cual el 87.32% son residuos orgánicos reciclables y el 12.68% son residuos inorgánicos reciclables. Porcentajes menores a los de 3 años atrás en la misma ciudad en un 15.69% y un 19.79% menor a la presente investigación.

Estas diferencias pueden deberse a que el muestreo realizado en esta investigación fue directamente del camión recolector y no casa por casa como en dichas investigaciones. Aunado a que estos estudios fueron realizados hace más de 10 años, los patrones de consumo han cambiado y la población se ha incrementado en un 16.37%⁸ del 2000 al 2005. Además, en el sitio de disposición final de la ciudad de Mexicali, trabajan alrededor de 120 recicladores [9], mientras que en la ciudad de Ensenada, los recicladores no tienen

acceso a las instalaciones. También afecta el hecho de que en Ensenada de acuerdo con el XVIII Ayuntamiento de Ensenada, los subproductos susceptibles al reciclaje son acopiados y comercializados mediante canales de distribución directa hacia ciudades con mayor infraestructura como Tijuana, Mexicali y los Estados Unidos.

En la Tabla 2 se muestra que en promedio los residuos de comida, y de papel y cartón son los más altos de los reciclables orgánicos, siendo el 36.51% y el 22.09% respectivamente. De igual manera, se expone que dentro de los reciclables inorgánicos el residuo que presenta una mayor proporción es el plástico con 12.34%. Es importante marcar que los plásticos han sido reportados como residuos orgánicos con una composición de 16.85% [11] y otros lo reportan como residuos inorgánicos con una composición del 17.4% [9]; por lo que se puede clasificar de acuerdo a su grado de degradabilidad o a su origen. En el caso de los residuos no reciclables, los residuos sanitarios resaltan con un 5.81%. La composición de los residuos por estrato socioeconómico se comporta de forma muy similar; las proporción de reciclables orgánicos e inorgánicos oscilan de 89.80% a 92.51%.

Investigaciones realizadas en Brasil mencionan que se pueden llegar a utilizar para reciclaje o reúso el 90% de los RSD y los residuos que se pueden utilizar para compostaje (residuos alimenticios y residuos de jardinería) llegan a ser el 53.7% [24]. El porcentaje de reciclaje o reúso es muy similar a la presente investigación (90.79%). En cuanto al compostaje, el porcentaje reportado en este estudio es menor en un 13.43%. En este sentido, se debe marcar que los porcentajes de residuos alimenticios en ambas investigaciones son muy similares (36.51% en Ensenada y 40.10% en Brasil), al contrario de lo que se aprecia en los residuos de jardinería, que tienen un 3.76% en Ensenada (los residuos de jardinería se encuentran englobados en otros orgánicos) y un 13.60% en Brasil. Una explicación a esto puede ser de que, a pesar de que se siguió

8 Valor obtenido de acuerdo al Catalogo ITER del INEGI del 2000 y 2005.

Tipo de residuo		Porcentajes (%)			
		Promedio	Estratos socioeconómicos		
			Bajo	Medio	Alto
Reciclables orgánicos	Residuos alimenticios	36.51	34.21	36.02	39.29
	Papel y cartón	22.09	22.79	21.23	22.25
	Textiles	6.20	9.51	5.98	3.12
	Otros orgánicos	3.76	2.98	4.96	3.34
Reciclables inorgánicos	Plástico	12.34	12.31	12.21	12.51
	Vidrio	4.47	3.50	4.32	5.58
	Metales	2.11	1.92	1.94	2.48
	Envases Tetra pak®	0.55	0.40	0.44	0.81
	Aluminio	0.46	0.28	0.47	0.63
	Otros inorgánicos	2.30	2.15	2.23	2.51
No reciclable	Residuos sanitarios	5.81	5.63	7.32	4.49
	Residuos fino	1.55	1.42	1.48	1.75
	Residuos electrónicos	0.42	0.49	0.53	0.25
	Varios	1.42	2.40	0.87	0.99

Tabla 2. Composición de los residuos sólidos domésticos de Ensenada (Baja California, México)

una metodología muy similar en la que se tomaron las muestras directamente del camión recolector y se estratificaron en 3 estratos socioeconómicos, los climas de ambas regiones son muy diferentes; el de Ensenada es tipo Mediterráneo, con una precipitación total anual de 250 mm, y el de Brasil es de tipo Tropical, con una precipitación total anual de 1457 mm.

Otros estudios reportan cantidades menores, tal es el caso de Hong Kong y Dublín: los residuos domésticos que pueden ser reciclados son de 51.4% y 50.5% respectivamente [25]. Sin embargo, en estos estudios los residuos reciclables son papel, cartón, plásticos y vidrio, al contrario del estudio reportado en este artículo que, además de los mencionados, son los residuos alimenticios, textiles, latas, aluminio, otros orgánicos e inorgánicos.

Los resultados indican que los residuos alimenticios ocupan entre el 49% y 58% de los reciclables orgánicos en los tres estratos socioeconómicos (ver Figura 2). Una categoría que resalta es el papel y cartón ya que los porcentajes son muy similares 33%. Una investigación realizada en otra ciudad fronteriza, reporta los residuos alimenticios con un 75% y el papel y cartón con un 7.2% del total de los residuos orgánicos reciclables [8]. Ésta es una diferencia grande a

pesar de que se encuentran solamente a 284 km de distancia; y se le puede atribuir a que en Mexicali la actividad se centra en el reciclaje de papel y cartón (6 recicladoras de un total de 13) y, en el caso de Ensenada, sólo se tiene centros de acopio [22]. La metodología seguida es diferente a la de esta investigación, además, el estudio se llevó a cabo en 1999-2000; es decir, hace 10 años aproximadamente, período en que los patrones de consumo han cambiado y la industrialización de productos alimenticios y el exceso de los empaques han influido. En cuanto a los textiles, se pudo visualizar un mayor desperdicio del estrato bajo (14%), esto se puede deber a que mucha de esta ropa es adquirida de segunda mano en comercios minoristas *tianguis*.

Los reciclables inorgánicos se muestran en la Figura 3. El más alto porcentaje está representado por los plásticos que tienen una diferencia entre los estratos que va de 51% al 60%, siendo el de menor porcentaje el estrato alto y el de mayor porcentaje el estrato bajo. Sigue el vidrio: el 17% le corresponde al estrato bajo, el 20% al estrato medio y el 23% al estrato alto.

Un estudio realizado en Chihuahua en abril del 2006 muestra también porcentajes muy altos en los plásticos; éstos oscilan entre el 56% y el 64% [13], porcen-

tajes muy similares a los de la presente investigación. Sin embargo, el vidrio muestra porcentajes superiores que van de 24% a 31%. Se debe recalcar que en este estudio no se manejaron envases Tetra pak®, ni otros inorgánicos. Además, la metodología seguida fue diferente: se realizó un muestreo casa por casa y el tamaño de la muestra fue a través del número de casas necesaria de acuerdo a los estratos socioeconómicos. En cambio, en la investigación presente, la recolección fue directa del camión cuyas muestras fueron de 90 kg aproximadamente en cada estrato socioeconómico. Otra investigación, realizada en Missouri, indica al vidrio con un 22% [5]; dicho porcentaje es similar al este estudio, cuyos valores concuerdan con la cercanía a la frontera con Estados Unidos.

El porcentaje ascendente en el caso del vidrio y descendente en el caso del plástico, pueden deberse al poder adquisitivo de los consumidores. Las observaciones *in situ* mostraron que el vidrio desechado en los estratos altos, correspondía en su mayoría a en-

vases de bebidas alcohólicas nacionales e importadas. En el caso de los plásticos, correspondían en su mayoría a envases de refrescos.

El residuo que tiene un mayor porcentaje en los no reciclables es el sanitario. El estrato medio es el que reporta la cantidad más alta de los tres estratos con un 72%, comparado con el 57% del estrato bajo (ver Figura 4). Una investigación realizada por Ojeda et al. [8] muestra un 64.27% de dichos residuos; otro estudio llevado a cabo por Gidaracos et al. [11] indica un 69%. Estos porcentajes se encuentran dentro del rango de los residuos sanitarios reportados en esta investigación.

En la Tabla 3 se muestra la cantidad de residuos que se podrían recuperar en términos de toneladas semanales. Se resalta la recuperación de residuos alimenticios con 643.67 toneladas para composta, 389.45 toneladas de papel y cartón, 217.55 toneladas de plástico y 78.81 toneladas de vidrio. En total, se ob-

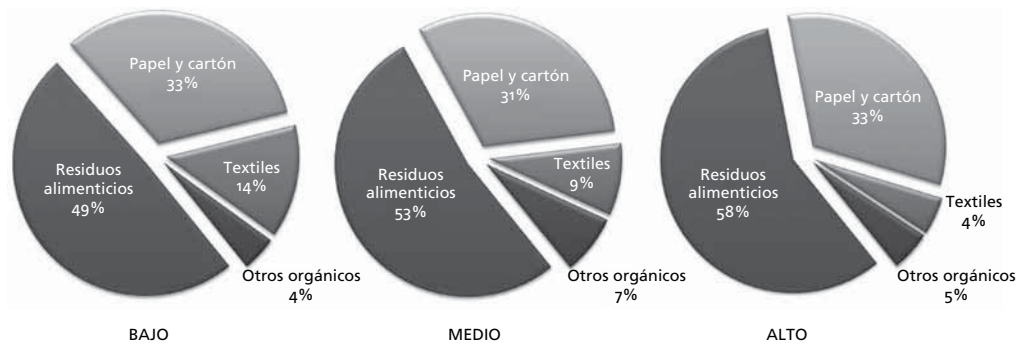


Figura 2. Porcentajes de residuos reciclables orgánicos en los tres estratos socioeconómicos

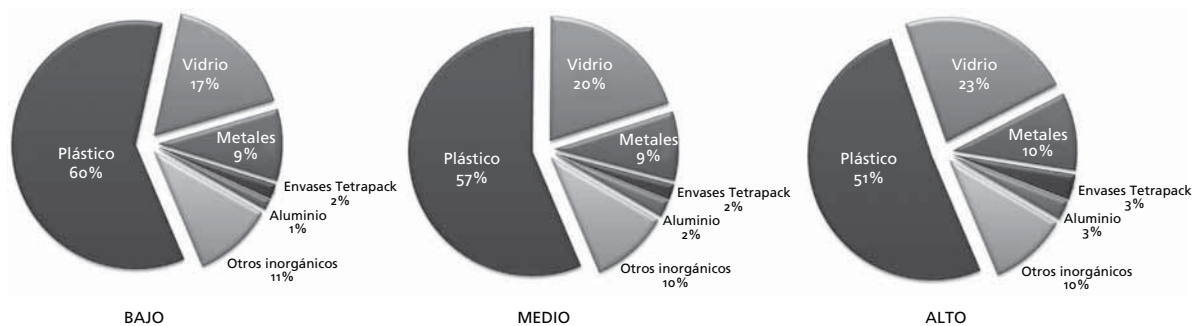


Figura 3. Porcentajes de residuos reciclables inorgánicos en los tres estratos socioeconómicos

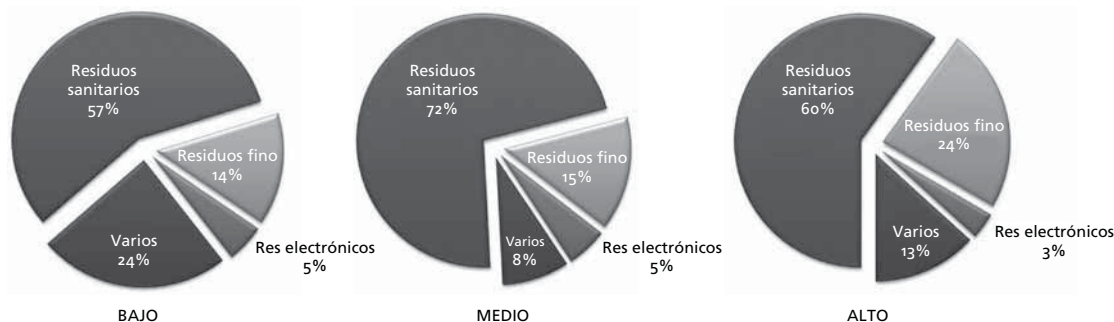


Figura 4. Porcentajes de residuos no reciclables en los tres estratos socioeconómicos

Tipo de residuo		Promedio (%)	Toneladas recuperables (ton/sem)	Precio de compra ^a (\$MXP/ton)	Valor en el mercado (\$MXP)
Reciclables orgánicos	Residuos alimenticios	36.51	643.67	N/A	
	Papel y cartón	22.09	389.45	600	233,668.02
	Textiles	6.20	109.31	N/A	
	Otros orgánicos	3.76	66.29	N/A	
Reciclable inorgánico	Plástico	12.34	217.55	2000	435,108.40
	Vidrio	4.47	78.81	400	31,522.44
	Metales	2.11	37.20	2400	89,278.32
	Envases Tetra pak®	0.55	9.70	N/A	
	Aluminio	0.46	8.11	15000	121,647.00
	Otros inorgánicos	2.30	40.54	N/A	
TOTAL		90.79	1,600.63		\$911,224.18

^aPrecios de compra promedio otorgado por los diferentes centros de acopio y recicladores de la región

Tabla 3. Potencial de recuperación de los residuos sólidos domésticos de Ensenada (Baja California, México)

tendría un beneficio económico aproximado de MXP \$911,224.18 (USD \$ 71,693.48) por la comercialización de los principales reciclables. Esto sin tomar en cuenta a los residuos alimenticios, los cuales son procesados por una empresa particular en la ciudad de Ensenada.

GENERACIÓN PER CÁPITA DE RSD

La generación per cápita de los RSD recolectados en las fechas de muestreo se estimó en 0.968 ± 0.208 kg/día-hab (ver Ecuaciones 3 y 4), donde gpc_m es la media y gpc_l son los límites de tolerancia. Estos cálculos se realizaron con base en la cantidad recolectada por el municipio de Ensenada (ver Figura 5).

$$gpc_m = \left[\frac{251857 \text{ kg/día}}{260075 \text{ hab}} \right] = 0.968 \frac{\text{kg}}{\text{día} \times \text{hab}} \quad (3)$$

$$gpc_l = \left[\frac{54183 \text{ kg/día}}{260075 \text{ hab}} \right] = 0.208 \frac{\text{kg}}{\text{día} \times \text{hab}} \quad (4)$$

Ahora bien, el error estándar muestral obtenido es de 20,443.88 kg/día (ver Ecuación 5), por lo que el error estándar muestral per cápita es de 0.079 kg/día-hab.

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{76494}{\sqrt{14}} = 20,443.88 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \quad (5)$$

La SEMARNAT [26] reportó que la generación per cápita diaria para el 2006 en zona fronteriza fue de 1.06 kg/día-hab; el dato encontrado en este estudio fue ligeramente menor a lo indicado en el estudio mencionado, en contraste con lo encontrado por Ojeda et al. [8] en Mexicali, con 0.592 kg/hab-día. Esto se puede deber a que el período de la muestra tomada fue en dos etapas: de mayo a junio 1999 y de marzo a abril 2000; con una diferencia de 9 a 10 años, período en el que ha habido un crecimiento poblacional y cambios en los patrones de consumo.

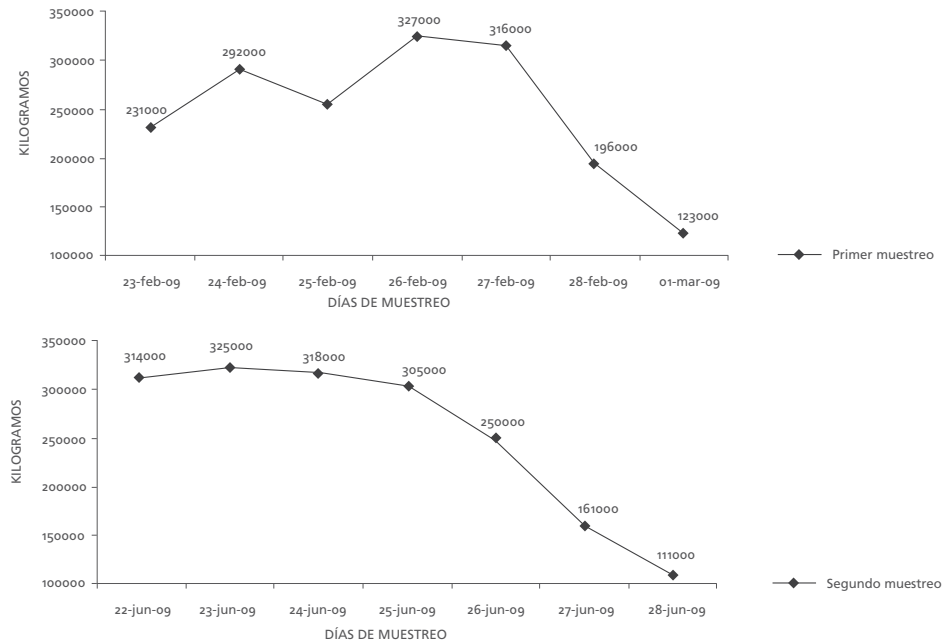


Figura 5. RSD recolectados por el Municipio en las fechas del muestreo

Comparando con otras ciudades del mundo, se puede apreciar que la generación per cápita diaria de Ensenada es muy similar a las descritas por Hristovski et al. [14] con 1.06 ± 0.56 kg en Veles, Macedonia (economías en desarrollo); Bernache-Pérez et al. [18], por su parte, señala países desarrollados tal como Japón con 1.22 kg y Alemania con 1.15 kg. A diferencia de otros países desarrollados como E.U. con 2.3 kg/hab-día [5] y Reino Unido con un 2.42 kg/hab-día [27], en los cuales se puede apreciar una marcada diferencia.

CONCLUSIONES

Se realizó un estudio de composición de RS para cuantificar los componentes de los RSD depositados en el relleno sanitario de la ciudad de Ensenada (Baja California, México) y determinar su potencial de aprovechamiento. Los resultados indican que aproximadamente el 91% de los RSD tienen potencial de aprovechamiento. En promedio, se podrían emplear semanalmente 643.67 toneladas de residuos alimenticios para elaborar composta y reciclar 389.45 toneladas de papel y cartón, 217.55 toneladas de plástico y

78.81 toneladas de vidrio. Un estimado de la comercialización de los principales reciclables indica que se pudiera obtener un beneficio económico de MXP \$911,224.18 (USD \$ 71,693.48). Este valor no incluye los ingresos que pudieran generarse por el aprovechamiento de los residuos alimenticios.

En el presente estudio se puede apreciar que la composición de los residuos entre estratos presenta diferencias significativas en algunos componentes. Así, mientras el papel se desecha en los mismos porcentajes en los tres estratos, la diferencia porcentual en los textiles es sustancial. Por ello, es importante que los programas de educación ambiental y otras estrategias que se desarrollen para reducir la generación y elevar el aprovechamiento de tales componentes se realicen acorde a las condiciones de cada estrato.

Las diferencias en las clasificaciones de los componentes entre estudios hacen difícil una comparación *stricto sensu*. En el caso de los plásticos algunos investigadores los consideran como residuos orgánicos y en otras como residuos inorgánicos. Debido a que los plásticos se constituyen por polímeros orgánicos de alto peso molecular, la mayoría de la literatura lo

clasifico dentro de los residuos inorgánicos, esto considerando la degradabilidad de los componentes y no su origen. En otros casos, como en los envases escépticos (Tetra pak®), algunos investigadores no los consideraron dentro de su clasificación de componentes.

La generación de residuos sólidos domésticos per cápita en Ensenada es superior a lo reportado en otros estudios realizados en países en desarrollo. La cercanía con los Estados Unidos de América (USA) puede estar influyendo en el comportamiento de consumo de los habitantes. Otros factores como el clima, religión, tipo de muestreo realizado y la cantidad de residuos analizados entre otros, pudieran explicar esta diferencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **O. Buenrostro y G. Bocco.**
“Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives”. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 39, No. 3, 2003, pp. 251-263.
- [2] **I.A. Al-Khatib, H.A. Arafat, T. Basheer, H. Shawahneh, A. Salahat, J. Eid y W. Ali.**
“Trends and problems of solid waste management in developing countries: A case study in seven Palestinian districts”. *Waste Management*, Vol. 27, No. 12, 2007, pp. 1910-1919.
- [3] **G.M. Ayininuola y M.A. Muibi.**
“An engineering approach to solid waste collection system: Ibadan North as case study”. *Waste Management*, Vol. 28, No. 9, 2008, pp. 1681-1687.
- [4] **G. Tchobanoglous, H. Theisen, y S. Vigil.**
Gestión Integral de Residuos Sólidos. Madrid, España: McGraw-Hill, 1994.
- [5] **Y. Zeng, K.M. Trauth, R.L. Peyton y S.K. Banerji.**
“Characterization of solid waste disposed at Columbia Sanitary Landfill in Missouri”. *Waste Management Research*, Vol. 23, No. 1, 2005, pp. 62-71.
- [6] **A.D. Emery, A.J. Griffiths y K.P. Williams.**
“An in depth study of the effects of socio-economic conditions on household waste recycling practices”. *Waste Management Research*, Vol. 21, No. 3, 2003, pp. 180-190.
- [7] **K. Karousakis y E. Birol.**
“Investigating household preferences for kerbside recycling services in London: A choice experiment approach”. *Journal of Environmental Management*, Vol. 88, No. 4, 2008, pp. 1099-1108.
- [8] **S. Ojeda-Benítez, C. Armijo-de Vega y M.E. Ramírez-Barreto.**
“Characterization and quantification of household solid wastes in a Mexican city”. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 39, No. 3, 2003, pp. 211-222.
- [9] **S. Ojeda-Benítez, C. Armijo de Vega y M.E. Ramírez-Barreto.**
“The potential for recycling household waste: a case study from Mexicali, Mexico”. *Environment and Urbanization*, Vol. 12, No. 2, 2000, pp. 163-173.
- [10] **B.E.J. Jiménez Cisneros.**
La contaminación ambiental en México. México: Limusa, 2002.
- [11] **E. Gidarakos, G. Havas y P. Ntzamilis.**
“Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete”. *Waste Management*, Vol. 26, No. 6, 2006, pp. 668-679.
- [12] **Norma Mexicana NMX-AA-015-1985**, México: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Muestreo-Método de Cuarteo.
- [13] **G. Gómez, M. Meneses, L. Ballinas, y F. Castells.**
“Characterization of urban solid waste in Chihuahua, Mexico”. *Waste Management*, Vol. 28, No. 12, 2008, pp. 2465-2471.

- [14] **K. Hristovski, L. Olson, N. Hild, D. Peterson, y S. Burge.**
“The municipal solid waste system and solid waste characterization at the municipality of Veles, Macedonia”. *Waste Management*, Vol. 27, No. 11, 2007, pp. 1680-1689.
- [15] *Norma Mexicana NMX-AA-061-1985*, México: Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de la Generación.
- [16] **J. Owens, S. Dickerson y D.L. Macintosh.**
“Demographic Covariates of Residential Recycling Efficiency”. *Environment and Behavior*, Vol. 32, No. 5, 2000, pp. 637-650.
- [17] **S.A. Batool y M.N. Chuadhry.**
“The impact of municipal solid waste treatment methods on greenhouse gas emissions in Lahore, Pakistan”. *Waste Management*, Vol. 29, No. 1, 2008, pp. 63-69.
- [18] **G. Bernache-Pérez, S. Sánchez-Colon, A.M. Garmendia, A. Davila-Villarreal y M.E. Sánchez-Salazar.**
“Solid waste characterization study in the Guadalajara Metropolitan Zone, Mexico”. *Waste Management Research*, Vol. 19, No. 5, 2001, pp. 413-424.
- [19] **SEMARNAT.**
Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. México: 2001.
- [20] **O. Buenrostro Delgado.**
Los residuos sólidos municipales: Perspectivas desde la investigación multidisciplinaria. México: Universitaria, 2001.
- [21] **C. Armijo de Vega, S. Ojeda Benítez y M.E. Ramírez Barreto.**
“Solid waste characterization and recycling potential for a university campus”. *Waste Management*, Vol. 28, Supplement 1, 2008, pp. S21-S26.
- [22] **S. Ojeda-Benítez, C. Armijo-de Vega y M.E. Ramírez-Barreto.**
“Formal and informal recovery of recyclables in Mexicali, Mexico: handling alternatives”. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 34, No. 4, 2002, pp. 273-288.
- [23] **G. Wehenpohl y C. Ambrosius.**
Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos Experiencias de Nueve Años de Cooperación Técnica Alemana en México. México: 2006.
- [24] **S. Donnini Mancini, A. Rodrigues Nogueira, D. Akira Kagohara, J.A. Saide Schwartzman, y T. de Mattos.**
“Recycling potential of urban solid waste destined for sanitary landfills: the case of Indaiatuba, SP, Brazil”. *Waste Management Research*, Vol. 25, No. 6, 2007, pp. 517-523.
- [25] **S. Chung y C. Poon.**
“Characterisation of municipal solid waste and its recyclable contents of Guangzhou”. *Waste Management Research*, Vol. 19, No. 6, 2001, pp. 473-485.
- [26] **SEMARNAT.**
“Compendio de Estadísticas Ambientales 2008”. México: 2008.
- [27] **K.N. Kumar y S. Goel.**
“Characterization of Municipal Solid Waste (MSW) and a proposed management plan for Kharagpur, West Bengal, India”. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 53, No. 3, 2009, pp. 166-174.