

Caracterización de residuos sólidos urbanos y análisis de opciones de revalorización de materiales en el municipio de Cercado, Cochabamba, Bolivia

Claudia Lydia Toledo Medrano, Marcos Luján Pérez

Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana
Av. General Galindo s/n, Cochabamba, Bolivia

e-mail: lujan@uchcba.edu.bo

Resumen

En el presente estudio, se determinó la cantidad de Residuos Sólidos (RS) domésticos generados en el municipio de Cercado (Cochabamba, Bolivia), que asciende a 298,2 toneladas por día, con una tasa de generación de 0,51 kg habitante⁻¹ día⁻¹. Asimismo, se determinó la composición de los RS domésticos. Se verificó que el cambio en la composición física de los RS en Cercado, en el lapso de 11 años (1995-2006), es significativo. Entre los cambios más sobresalientes está el porcentaje de materia orgánica que bajó de un 71% a un 55,3% y el porcentaje de plásticos ascendió de un 2,6% (1995) a un 18% (2006). Un análisis preliminar de los materiales que se podrían recuperar y reciclar muestra que es factible reciclar plásticos, papel y cartón, aluminio, materia orgánica (como compost) y vidrio. Para ello se propone implementar un sistema de separación en origen y una planta de recuperación y transformación de materiales. Este sistema de gestión permitiría lograr un desvío de hasta un 51% de los RS, lo que implicaría una reducción de unos 200 mil US\$ por año, en costos de operación del relleno y una significativa prolongación del tiempo de vida útil del relleno sanitario. Además, se generarían hasta 3 millones de US\$, por año por la venta de los materiales reciclados. Por otra parte el desvío de una fracción importante de la materia orgánica y otros materiales, reduciría las emisiones contaminantes del vertedero y brindaría compost para la regeneración y conservación de suelos de cultivo en la región.

Palabras clave: Residuos sólidos domésticos, composición física, Reciclaje, Revalorización, Cochabamba - Bolivia.

1 Introducción

El aumento de la población mundial y de sus requerimientos incide en un mayor consumo de productos que, al final, redundan en un aumento en la generación de residuos sólidos (RS). El crecimiento de los centros urbanos y el aumento de la cantidad de RS generados obligan a las autoridades responsables a mejorar continuamente los sistemas de gestión de RS y a aumentar su capacidad de gestión. Esto no sólo por los riesgos que generan los RS mal manejados, para la salud de la población y para los ecosistemas [4], sino también por el costo que implica para la sociedad el manejo y disposición adecuada de los RS.

La gestión de los RS urbanos en la ciudad de Cochabamba está a cargo de la Empresa Municipal de Servicios de Aseo (EMSA), que es una empresa pública descentralizada del Municipio del Cercado. Fue creada por ordenanza municipal # 1.908, el 24 de enero de 1997. EMSA tiene serias falencias técnicas, operativas y de gestión, además de limitaciones en cuanto a la disponibilidad de recursos, equipamiento e infraestructura. Esto ha llevado a la empresa a un permanente estado de quiebra técnica y económica. Para superar esta situación, es urgente reformular el sistema de gestión de RS para hacerlo más eficiente, reducir los costos de operación y generar recursos adicionales para la empresa. El punto de partida para la reformulación del sistema de gestión es contar con información confiable y actualizada sobre las características de los RS generados en la ciudad de Cochabamba, información con la que no se cuenta actualmente.

La información más reciente respecto a la generación de RS en la ciudad de Cochabamba, publicada por Castellón [2] indica que, el año 1993, se generaban 160 [t día⁻¹], en 1994 aumentó la cantidad generada a 280 [t día⁻¹], para 1995 fue de 320 [t día⁻¹] y para el año 1996 se generó un aproximado de 360 [t día⁻¹]. Así mismo, Castellón presenta la composición de los RS para el año 1995, que se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de RS del municipio de Cercado, Cochabamba en 1995 [2].
Nota: la suma de los porcentajes no es igual a 100%, pero es tal cual se publicó originalmente esta tabla.

Material	Fracción
	---%---
Materia orgánica	70,9
Materia inerte	20,8
Plásticos	2,6
Papel y cartón	12,8
Telas, cuero y goma	1,4
Vidrio	0,8
Pañales	0,8
Metales	0,6
Huesos	0,3

En la composición de los RS del año 1995 se destaca la fuerte proporción de materia orgánica (70,9%) y una pequeña proporción de plásticos. En un estudio del año 2003 sobre la composición de los RS en un municipio vecino al del Cercado, el municipio de Colcapirhua, publicado por Luján [5], se advierte un sensible cambio de la composición de los RS: la materia orgánica se reduce a un 60%, el plástico aumenta a un 10,6% y el papel y cartón se reduce a un 5%. Estos resultados muestran que se está produciendo un cambio importante en la composición de los RS generados en la ciudad de Cochabamba, debido sobre todo a la introducción de nuevos productos de consumo masivo que contienen material plástico y productos desechables.

En América Latina y el Caribe, la OPS y OMS han realizado muchos estudios sobre el manejo de los RS. El factor común en países de mayor desarrollo económico, es la disminución de la fracción de materia orgánica en relación al aumento del resto de los residuos sólidos: plástico, papel, aluminio, desechos de hospitales, medicinas caducadas, compuestos químicos, pilas eléctricas y otros [5][8].

Por ello se hace necesario actualizar los estudios sobre la caracterización de la generación de RS en el municipio de Cochabamba que permita elaborar una propuesta pertinente sobre los métodos, técnicas y tecnologías a ser utilizadas para implementar un sistema de gestión integral de residuos sólidos (SGIRS) [5][9]. Mediante una caracterización de RS se podrá obtener la composición y la cantidad de los diferentes materiales que pueden ser desviados de su evacuación final, los cuales, después de un tratamiento o sin el mismo, pueden ser revalorizados mediante su venta y posterior uso como materia prima [14].

Debido a las dificultades económicas y operativas de EMSA, y por ende la necesidad de generar algunos ingresos adicionales, la empresa se vio obligada a implementar un sistema de recuperación de materiales reciclables que tienen ya un mercado desarrollado en la ciudad de Cochabamba. Con este propósito, EMSA, desde fines del mes de octubre del año 2005, comenzó a realizar el acopio y separación de vidrio, plástico, cartones, aluminio, otros metales y papel. Estos materiales son luego vendidos a diferentes empresas recicladoras.

La unidad de acopio y separación de materiales reciclables se encuentra en la avenida Petrolera km 6,5. La infraestructura de la misma es prácticamente una vivienda particular en cuyo patio se depositan los materiales que son demandados por diferentes empresas en Cochabamba para su posterior reciclaje. El sitio de acopio se muestra en la Figura 1. Alrededor del patio se cuenta con cuartos utilizados como depósitos, cada uno destinado a un tipo específico de material que es acumulado y vendido. Los materiales separados por la unidad de acopio son: papel, cartón, plásticos, vidrio, aluminio, otros metales férricos y no férricos.

Lamentablemente el manejo de los procesos de recuperación de materiales se realiza de manera improvisada y sin conocimiento de la composición y cantidad de materiales que se pueden recuperar. Esto lleva a que las instalaciones y la maquinaria para estos procesos no estén bien dimensionadas ni adaptadas a los procesos que se

desarrollan. La empresa tampoco aprovecha todo el valor agregado que se puede generar con estos materiales, pues vende los materiales recuperados sin procesarlos, el procesamiento queda a cargo de otras empresas, que son la que se encargan de generar el valor agregado posible.



Figura 1: Unidad de acopio y separación de los materiales reciclables.

Ante esta situación y con el propósito de generar opciones tecnológicas para la gestión de los RS en la ciudad de Cochabamba, se determinó como objetivo de este trabajo el caracterizar los residuos sólidos urbanos generados en la ciudad de Cochabamba, Provincia Cercado y realizar un análisis de los beneficios que traería la revalorización de los materiales reciclables.

1.1 Alcance y límites

El presente estudio contempla la caracterización de los residuos sólidos urbanos (RSU) del municipio Cercado, Cochabamba. No se consideraron los residuos sólidos peligrosos y RS generados por hospitales e industrias y otras fuentes de generación de RS especiales. Se tomarán en cuenta esencialmente los RS domésticos y comerciales.

El estudio de caracterización de los RS se realizó en todo el municipio de Cercado, exceptuando el distrito nueve, debido a que en este distrito se realiza una actividad netamente agropecuaria y es clasificado como rural. Este distrito no recibe un servicio de recolección por parte de EMSA.

A partir de la caracterización de la generación de RS, se realizó un análisis de las opciones de revalorización ya sea de reutilización y/o reciclaje de aquellos materiales que presenten las mejores opciones para este propósito.

1.2 Justificación del proyecto

La ciudad de Cochabamba, debido al desarrollo demográfico y económico, sufre un permanente incremento en la generación de sus RSU. Por este motivo, es necesario contar con un SGIRS diseñado en base a datos actuales, los cuales se obtendrán mediante un estudio de caracterización de residuos sólidos urbanos generados en la ciudad de Cochabamba, provincia Cercado, que esté acorde a los procedimientos establecidos por la Norma Boliviana de residuos sólidos NB-743. El estudio de caracterización de RS proporcionará información útil que permitirá al gestor de los residuos, valorar y analizar las alternativas viables para la reducción de la cantidad de RS que llega al actual botadero de K'ara K'ara, ya sea mediante la reutilización y/o reciclaje y, finalmente, una evacuación ambientalmente adecuada, debido a que, la cantidad y composición de RS, tienen un impacto directo sobre las tecnologías seleccionadas para su gestión y evacuación [5].

La gestión de los materiales reciclables, que recoge EMSA, reducirá la cantidad de RS que son llevados al botadero de K'ara K'ara, ayudará al mantenimiento del mismo e incrementará su vida útil. Si bien el botadero de K'ara K'ara está por llegar a su cierre, las características de los RS son de igual importancia para el nuevo relleno sanitario pues, de esta manera, se tendrá un manejo adecuado de los RS desde el inicio del funcionamiento de un nuevo relleno sanitario.

Con el acopio, separación y reutilización de RSU del municipio, EMSA obtendría ingresos económicos que le permitirán superar la situación de crisis económica en que se encuentra ahora. Además, EMSA contará con herramientas valiosas para mejorar la eficiencia del servicio que brinda a la población y evitará mayores impactos negativos en el medio ambiente, salud humana e inclusive mejorará la estética paisajística del municipio Cercado en la ciudad de Cochabamba.

El presente trabajo generará una fuente de información fidedigna y base para la realización de muchos estudios que ayuden a estructurar una gestión integral de RSU en la ciudad de Cochabamba, Provincia Cercado.

2 Metodología

La metodología empleada para realizar la caracterización de residuos sólidos, en el municipio de Cercado, es la propuesta por IBNORCA en la Norma Boliviana de residuos sólidos NB-743. Esta normativa está basada en lineamientos de países vecinos para realizar la caracterización de RSU, pero adaptados a las necesidades y recursos de Bolivia.

Una revisión bibliográfica exhaustiva permitió recuperar los estudios previos sobre caracterización de RS en la ciudad de Cochabamba. También se recopiló información sobre estudios de caracterización realizados en municipios cercanos al municipio del Cercado como estudios comparativos.

Debido a que existen diferencias en cuanto a nivel económico, actividades y hábitos de consumo en diferentes zonas de la ciudad, se la dividió en 4 zonas de características similares (ver Figura 2), con el fin de aumentar el grado de confiabilidad y representatividad de los resultados obtenidos. Como se observa en la Figura 2 la zonificación fue realizada por Distritos, para evitar confusiones en cuanto a la delimitación de las zonas.

La zonificación se la hizo analizando las características de todos los Distritos de la ciudad de Cochabamba y agrupando Distritos vecinos de características similares. Mediante este análisis se determinó que los Distritos uno y dos conformarían una zona residencial en el norte del municipio, llamada zona uno. De la misma manera, la zona oeste, conformada por los Distritos 3, 4, 12, es una zona residencial, denominada en el proyecto como zona 2, al igual que la zona sur, conformada por los Distritos 5, 6, 7, 8 y 14 que fue llamada zona 4. Quedan así los Distritos 10 y 11, en la zona central de la ciudad, cuya actividad característica es el comercio; esta zona se denominó zona 3.



Figura 2: Zonificación del municipio de Cercado por Distritos

Para cada zona se determinó el número de muestras necesarias para un nivel de confianza del 95%, utilizando la ecuación propuesta por Sakurai [9].

$$n = \frac{V^2}{\left(\frac{E}{1,96}\right)^2 + \left(\frac{V^2}{N}\right)} \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

n = Número de puntos de recolección.

V = Desviación estándar [g hab⁻¹ d⁻¹]

E = Error permisible [g hab⁻¹ d⁻¹]

N = Número total de viviendas del estrato.

En esta ecuación se tomó una desviación estándar de 180 [g hab⁻¹ día⁻¹] valor que está recomendado por Sakurai [9]. El error permisible es de 0,35 [g hab⁻¹ día⁻¹]. Si se toma en cuenta el error de la balanza utilizada, para el pesaje de la producción per cápita, tiene un error de 0,25 [g hab⁻¹ día⁻¹] de esta manera, se aumentó el rango de error para cubrir un rango mínimo de precisión al momento del pesaje. El número total de viviendas en cada estrato se calculó con datos del Instituto Nacional de Estadística [3]. El número de muestras obtenido para cada una de las zonas fue de 90 muestras de manera coincidente, haciendo un total de 360 muestras en toda la zona de estudio. Finalmente, se realizó una distribución aleatoria de los puntos de muestreo.

2.1 Realización del muestreo propiamente dicho

El muestreo, para cada zona de estudio, tuvo una duración de ocho días, como lo establece la norma boliviana NB-743. El muestreo se realizó en un periodo de 4 semanas en el mes de abril de 2006. Se realizó la recolección de RS en cada hogar de los puntos seleccionados, en un vehículo de propiedad de EMSA. Los RS se recogieron *in situ*, es decir, del lugar de origen. La recolección de los RS generados en los puntos de muestreo se realizó durante 8 días sucesivos; se eliminó la muestra recogida en el primer día, para obtener los siguientes días muestras de RS generados en las 24 h precedentes.

2.2 Determinación de la Producción Per Capita (PPC)

En el momento en que se recogieron los RS, en cada punto de muestreo, se procedió al pesaje de la bolsa con RS (ver Figura 3), y se dividió el peso entre el total de generadores. De esta manera, se determinó la producción per cápita (PPC) de los residuos sólidos mediante la siguiente fórmula [9]:

$$PPC = \frac{\sum X_i}{\sum Y_i} \quad (\text{ec. 2})$$

PPC = producción per cápita, en $\text{kg hab}^{-1} \text{d}^{-1}$

X_i = peso de los residuos de las viviendas, en kg

Y_i = población que habita las viviendas, en hab.

El peso de los residuos de cada vivienda se determinó pesando los residuos al momento de recogerlos con una balanza de mano, como se muestra en la figura 3. El número de habitantes de cada vivienda se determinó mediante una encuesta.



Figura 3: Pesaje de la muestra recogida *in situ*.

2.3 Determinación de la composición física de los RS

Cada día, una vez terminada la recolección de los RS de todos los puntos de muestreo, se transportaron los RS recolectados a la unidad de acopio de EMSA, ubicada en la avenida Humboldt. En esta unidad se prosiguió con la determinación de la composición de los RS recolectados en el día. En este recinto se dispuso los espacios para realizar la separación y clasificación de los RS; para ello, se preparó un espacio de 4 $[\text{m}^2]$, para cada zona, exigido por la Norma Boliviana NB-743.

Se juntaron todos los RS recolectados en un solo montón y se procedió a separar una muestra homogénea y representativa mediante el método del cuarteo, tal cual lo recomienda la norma NB-743. El tamaño de la muestra fue siempre superior a los 50 kg. Se procedió de esta manera para las muestras recolectadas en cada una de las zonas de generación.



Figura 4: Cuarteo de la muestra recogida

Una vez realizado el cuarteo, se continuó con la separación de los RS en los siguientes tipos de materiales: materia orgánica, residuos de jardín, papel y cartón, tetrapack, textiles, residuos sanitarios, plásticos según tipo (PET, PEAD, PEBD, PVC, PP, PS), vidrio, metales, latas de aluminio, residuos especiales (medicamentos expirados), residuos peligrosos (pilas, latas de aceite para autos, pinturas, pesticidas, aerosoles, etc.), tierra, barreduras y otros. La separación se hizo manualmente y las diferentes fracciones fueron acumuladas sobre una lona como muestra la figura 5.



Figura 5: Residuos sólidos separados en las fracciones definidas.

La determinación de la composición física se realizó en base al peso total después de realizado el cuarteo y a los pesos registrados de cada material. Mediante la siguiente fórmula se obtuvo los porcentajes de cada material [7].

$$P_i = \frac{PM_i}{PT} \times 100 \quad (\text{ec. 3})$$

Donde:

P_i = Porcentaje en peso del material [%]

PM_i = Peso del material i [kg]

PT = Peso total de la muestra [kg]

2.4 Determinación del peso específico (PE)

Finalmente, se prosiguió con la determinación del peso específico total de RS de cada zona y se determinó el peso específico de cada tipo material. Se homogenizó los RS y se los llenó en un recipiente cilíndrico de volumen conocido (100 L), se tomó nota del peso y se lo dividió entre el volumen total de los RS, de esta manera se obtuvo el peso específico aparente de los RS en kg m^{-3} . Este proceso se realizó tanto para los RS mezclados, es decir, sin separación previa, como para los RS ya separados. La determinación del PE se presenta en la Figura 6.



Figura 6: Determinación del peso específico

2.5 Análisis del mercado de materiales reciclados

Se realizó encuestas a aquellas empresas que compran materiales del centro de acopio de EMSA, ya sea para su reutilización, recuperación o reciclado. El dato de estas

empresas fue obtenido del encargado del centro de acopio de EMSA. Así mismo, el encargado nos facilitó las cantidades de cada tipo de material que acopian y venden por semana, así como los precios por kg de material. La finalidad de la encuesta fue la de conocer los requisitos de las empresas en cuanto a los tipos, calidad y cantidad de materiales que desean comprar.

3 Resultados y discusión

En la tabla 2 se muestra el resumen de los resultados de la determinación de la producción per cápita de las cuatro zonas de estudio y el promedio para toda la ciudad de Cochabamba. También se presenta una estimación de la producción total de RS domésticos en la ciudad de Cochabamba. En este total no se incluye la basura generada por fuentes como: hospitales, industrias y limpieza de áreas públicas. Sin embargo, la basura de origen doméstico y de centros comerciales representa la mayor proporción de basura que se genera en la ciudad.

En la tabla 2 vemos que la zona 1, que corresponde a la zona residencial donde la población tiene un mayor nivel económico, se tiene la mayor tasa de generación, le sigue la zona oeste donde el nivel económico es un poco más bajo y luego la zona sur donde se tiene la población con menor nivel económico. Es interesante constatar que no hay mucha diferencia en cuanto a la tasa de generación, lo que muestra una cierta homogeneidad en las características que determinan las tasas de generación de RS. En la zona 3 se tiene la menor tasa de generación, pero es también la zona en que existen mayores fuentes de generadores no domésticos, sobre todo centros comerciales, como la basura de estos generadores no fue incluida en este estudio, la PPC en esta zona presenta un valor más bajo.

Tabla 2. Producción per cápita y peso específico aparente de RSU en Cercado-Cochabamba, 2006. *Los promedios son promedios ponderados considerando la población de cada zona.

Zona	Distritos	Promedio diario de RSU recogidos [kg]	Tamaño de la muestra [hab.]	Población estimada al 2006 [hab.]	Densidad Aparente de lo RS [kg m ⁻³]	Producción per cápita de RS [kg hab ⁻¹ día ⁻¹]	Producción de RS domésticos [ton día ⁻¹]
1. Norte Residencial	1,2	1.757,50	3.121	92.137	183,7	0,563	51,6
2. Oeste Residencial	3,4,12	1.574,60	2.960	174.297	195,4	0,532	92,4
3. Zona Comercial	10,11	825,3	1.997	85.681	159,7	0,413	35,1
4. Sur Residencial	5,6,7,8	1.467,45	2.847	233.569	270,9	0,515	119,1
Toda la ciudad				585.684	202,4*	0,512*	298,2*

La densidad aparente de los RS domésticos en todas las zonas presenta valores usuales para este tipo de RS. El promedio de toda la ciudad es de 202,4 kg m⁻³, la dispersión de los valores medidos en todas las zonas está cerca al valor promedio. Sólo la zona sur presenta un valor un poco más elevado que lo normal. Esto se debe eventualmente a un mayor contenido de fracciones densas como vidrio, materia orgánica, tierra y barreduras.

La cantidad de RS domésticos que se genera por día en la ciudad de Cochabamba alcanza a 298,2 ton día⁻¹. No tenemos información sobre la cantidad de RS que generan otras fuentes que no sean domésticas o comerciales, pero estimamos que está alrededor de las 60 ton día⁻¹.

La composición física de los RS domésticos se muestra en la tabla 3. La composición promedio global se calculó considerando la composición de cada zona y la cantidad proporcional que se genera en cada zona de estudio. Se consideró todos los resultados obtenidos en cada zona de estudio para conformar un resultado final en cuanto a la composición física de RSU en el municipio de Cercado-Cochabamba. La composición promedio de toda la ciudad se presentan gráficamente en la Figura 7.

En todas las zonas, la fracción más importante es la fracción orgánica que, junto con los residuos de jardín, representan un 55,3% de los RS domésticos, este valor es muy similar al obtenido en el municipio de Colcapirhua en estudios previos [5]. La fracción orgánica es muy similar en las tres zonas residenciales, salvo en la zona comercial donde el valor es menor. El segundo material en importancia en los residuos generados es el plástico con un promedio de 17,3%, esto implica que el uso de este material se ha incrementado significativamente en los últimos años en la ciudad de Cochabamba. La zona en que se genera más plásticos es la zona comercial donde la proporción de plásticos llega hasta un 21%.

Tabla 3. Composición física de los RS domésticos generados en la ciudad de Cochabamba (abril de 2006). Los valores referidos a toda la ciudad son promedios ponderados considerando la población de cada zona de estudio.

Material	Composición porcentual				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Toda la ciudad
1. Materia orgánica (MO)	47,30	45,66	39,65	45,70	45,25
2. Residuos de Jardín	9,14	7,59	11,84	11,74	10,02
3. Papel y Cartón	6,51	7,35	11,92	7,20	7,68
4. Tetra pack	0,13	0,09	0,00	0,00	0,05
5. Textiles	3,24	4,65	2,11	0,97	2,64
6. Residuos Sanitarios	12,50	12,10	8,51	6,23	9,40
7. Plásticos	16,54	16,64	20,99	17,02	17,29
7.1. Polietileno tereftalato P.E.T	3,50	3,80	4,02	3,09	3,49
7.2. Polietileno de alta densidad P.E.H.D	4,90	4,76	5,49	3,98	4,56
7.3. Policloruro de Vinilo P.V.C	0,65	0,06	0,04	0,00	0,14

7.4. Polietileno de baja densidad P.E.L.D	4,25	4,22	4,75	2,91	3,76
7.5. Polipropileno P.P	3,10	2,70	6,40	6,96	4,91
7.6. Poliestireno PS	0,70	0,87	0,05	0,00	0,40
7.7. Otros	0,04	0,23	0,24	0,07	0,13
8. Vidrio	0,98	0,63	0,97	1,72	1,17
9. Metales	1,34	0,48	0,68	0,30	0,58
10. Latas de aluminio	0,08	1,23	0,07	0,18	0,48
11. Residuos especiales	0,01	0,001	0,06	0,03	0,02
12. Residuos peligrosos	0,16	0,24	0,36	0,62	0,39
13. Barreduras	0,40	1,00	1,14	2,06	1,34
14. Tierra	0,11	0,35	0,54	3,27	1,50
15. Otros	1,06	1,97	1,15	3,03	2,14
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,0

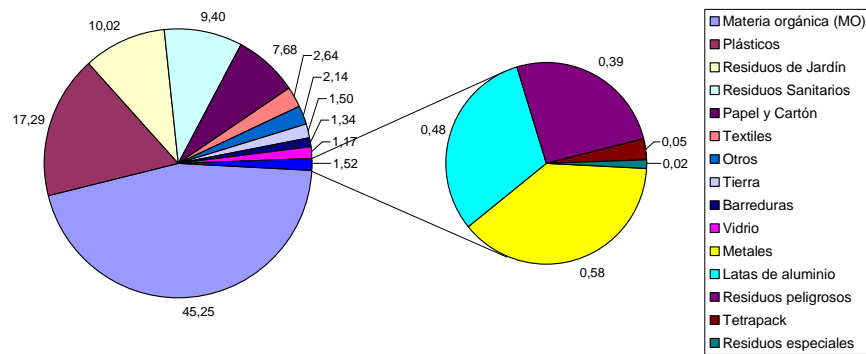


Figura 7: Composición física de RS domésticos generados en Cercado Cochabamba (septiembre 2006).

Es de destacar que la fracción de sanitarios llega hasta un 9,4%, superando la cantidad de papel y cartón 7,7%. La zona norte, de mayor nivel económico, es la que más residuos sanitarios genera y la zona sur, la de menor nivel económico, es la que menos residuos sanitarios genera. Los demás materiales están en una proporción menor al 3%.

En la figura 8 se observa la variación en la composición de los materiales más relevantes entre el año 1995, año en que se realizó el último estudio y los resultados del presente estudio, realizado el 2006. La proporción de materia orgánica muestra una sensible disminución de un 71% a 55% en este periodo; es la tendencia que siguen todas las ciudades al mejorar el nivel de vida y al consumir más productos alimenticios procesados industrialmente. Los plásticos son el material que más aumento relativo

presenta, pasando de un 2,6 a 17,3%, lo que demuestra un gran cambio en los hábitos de consumo y un mayor uso de material plástico en productos de todo tipo, principalmente alimenticios y productos desechables. Otro material que ha sufrido un aumento importante son los pañales y sanitarios que subieron de un 0,8 al 9,4%, esto muestra un aumento importante en el uso de pañales desechables y sanitarios en los últimos años. La cantidad de papel y cartón muestra una disminución sensible de 12,8 a 7,7 % y el vidrio registra un ligero aumento de 0,8 a 1,2%.

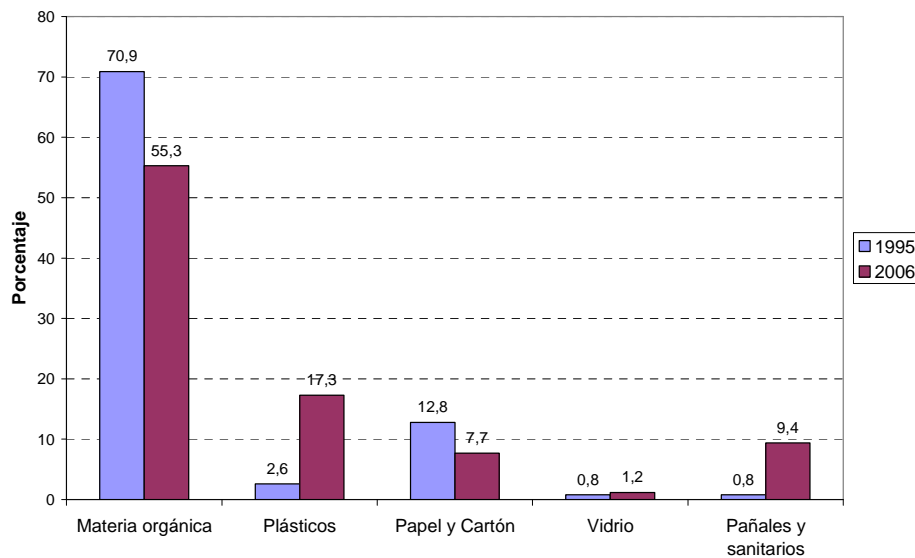


Figura 8: Variación de la composición física de los RS generados en la ciudad de Cochabamba entre los años 1995 y 2006.

Estos resultados muestran que la composición física de los RS generados en el municipio de Cercado ha tenido un cambio significativo en los últimos once años (1995-2006), debido, esencialmente, al crecimiento demográfico, desarrollo económico y cambio de los hábitos de consumo de la población de la ciudad de Cochabamba. Sin embargo, la fracción orgánica sigue siendo la fracción más importante, que junto con los plásticos y el papel y cartón representan un 80,3% de toda la basura generada en la ciudad de Cochabamba.

4 Análisis de oportunidades de recuperación de materiales.

Una de las mejores opciones para optimizar la gestión de residuos sólidos es buscar la revalorización de materiales que encontramos en los residuos mediante una recuperación y transformación de los mismos. En la ciudad de Cochabamba existe una importante actividad de recuperación y reciclaje de materiales, en particular de plásticos, aluminio, papel y vidrio. Mucha gente se dedica a esta actividad de manera informal. La idea que se quiere analizar es cuán provechoso sería para EMSA desarrollar esta

actividad a gran escala y con un sistema de gestión que optimice la recuperación y reciclaje de materiales. Por el momento EMSA recupera apenas un 3,7% de materiales reciclables.

Para este análisis proponemos un escenario en que EMSA implemente un sistema de gestión de RS con separación en origen en dos fracciones: una orgánica que estaría destinada al compostaje y otra inorgánica que sería procesada en una instalación de recuperación de materiales donde se recuperarían: plásticos, papel y cartón, aluminio y vidrio. En este escenario podemos calcular la cantidad de materiales que se recuperarían para el reciclaje utilizando la siguiente ecuación propuesta por Tchobanoglous *et al.* [11] [12].

$$TR_i = FC_i \cdot FP \cdot FR_i \quad (\text{ec. 4})$$

En esta ecuación TR_i es la tasa de recuperación del material i , FC_i es la fracción del material i en los residuos generados, FP es la fracción de población que participa del sistema de separación y FR_i es la fracción del material que se recupera en el proceso de selección del material. En un ensayo de separación en origen realizado en la ciudad de Cochabamba [13], se pudo evidenciar que, luego de un proceso de capacitación y educación ambiental, hasta un 62% de la población participaría de un sistema de separación en origen. La fracción de recuperación FR depende en gran medida de la tecnología que se utilice en el sistema de selección de materiales, los valores usuales para los diferentes materiales considerados se obtuvieron de Tchobanoglous *et al.* [12]. Con estos valores podemos estimar la tasa de recuperación de los diferentes materiales de interés en caso de implementar un sistema de recuperación y reciclaje en la ciudad de Cochabamba.

En la Tabla 4 se tiene un resumen de las tasas de recuperación, las cantidades y los ingresos que se podría generar por la venta de materiales recuperados. Los precios corresponden a los precios de venta del material recuperado sin procesar, por parte de EMSA el año 2006; hay que señalar que estos precios varían en función de la demanda, sobre todo en lo que se refiere a los materiales plásticos, cuyo precio depende fuertemente del precio del petróleo.

Las tasas de recuperación estimadas para los materiales revalorizados permitirían, en este escenario relativamente optimista, lograr un desvío del 43,6% de los residuos generados, reduciendo en 47,4 miles de toneladas al año la cantidad de RS que deben ser destinados al vertedero. Considerando que el costo actual de confinar una tonelada de RS en el vertedero es de unos 3-4 US\$ ton⁻¹, este desvío significaría un ahorro de 142 a 190 mil dólares al año. Por otra parte la fuerte reducción de la fracción orgánica en los RS destinados al vertedero, reduciría fuertemente la contaminación de lixiviados y las emisiones de gases en el vertedero.

Tabla 4. Tasas de recuperación, cantidad recuperada e ingresos que se generarían con un sistema de recuperación de materiales integrado a la gestión de RS en la ciudad de Cochabamba.

Material	FC	FP	FR	TR	Recuperación Anual [ton]	Precio [US\$/ton]	Ingreso anual [US\$]
Materia orgánica total	0,553	0,60	0,95	0,315	34.308,40 ^a	42 ^b	419.317,29
Papel y Cartón	0,077	0,60	0,75	0,035	3.762,91	100	376.291,49
Plásticos	0,173	0,60	0,75	0,078	8.466,81		1.830.518,07
Poliuretano tereftalato P.E.T	0,035	0,60	0,75	0,016	1.709,58	227	388.074,96
Poliuretano de alta densidad P.E.H.D	0,046	0,60	0,75	0,021	2.232,78	239	533.635,21
Poliuretano de baja densidad P.E.L.D	0,038	0,60	0,75	0,017	1.843,76	214	394.565,09
Polipropileno P.P	0,049	0,60	0,75	0,022	2.403,00	214	514.242,81
Vidrio	0,012	0,60	0,75	0,005	571,06	50	28.553,14
Latas de aluminio	0,005	0,60	0,90	0,003	279,24	1.010	282.033,84
Total				0,436	47.388,36		2.936.713,83

FC: factor de composición

FP: factor de participación de la población

FR: factor de recuperación del material

TR: tasa de recuperación efectiva global del material = FC FP FR

^a La cantidad de compost que se produce a partir de la materia orgánica recuperada se reduce a un 29% de la cantidad materia orgánica bruta procesada.

^b El precio corresponde a la tonelada de compost producida a partir de la materia orgánica y residuos de jardín generada en los RS domésticos.

En cuanto a los ingresos que generaría la venta de material recuperado, el material que genera más ingresos es el plástico, llegando a unos 1,83 millones de US\$ al año. En total, la venta de estos materiales recuperados generaría un ingreso anual de 2,94 millones de US\$. Estos ingresos más la reducción de costos por el vertido de menos RS, le significaría a EMSA un margen positivo de unos 3,2 millones de dólares al año en caso de implementar un sistema de separación en origen y recuperación de materiales. Esto le permitiría superar los problemas financieros que sufre en la actualidad.

Los ingresos por la venta de plásticos sería mucho mayor si los materiales plásticos son procesados en una planta de peletización, el precio de venta se puede triplicar con facilidad. La inversión necesaria para instalar este tipo de planta es de unos 180.000 US\$. El costo de operación sería de unos 150.000 US\$ año⁻¹. Un análisis financiero preliminar para una planta de este tipo reveló que sería altamente rentable (VAN de 5,9 millones de US\$, y una Tasa Interna de Retorno de 219 %, sobre 5 años).

5 Conclusiones

La composición física de los residuos sólidos, para el año 2006, en el municipio de Cercado de la ciudad Cochabamba-Bolivia, ha sufrido cambios notables desde el último estudio de caracterización de RS realizado en este municipio el año 1995. La proporción de materia orgánica disminuyó de 70,9 a 55,3% y la proporción de papel de 12,8 a 7,7%. Los materiales que más aumentaron en proporción son los plásticos que subieron de 2,6 a 17,3% y los pañales y sanitarios de 0,8 a 9,4%. Estos cambios revelan una gran variación en los hábitos de consumo y en los productos que se tienen ahora en el mercado. La disminución de la proporción de materia orgánica es una tendencia usual en la composición de los RS debido a la mayor industrialización de los alimentos. Esto también incide en la generación de una mayor proporción de materiales plásticos que son generalmente utilizados en los envases. El aumento en la proporción de pañales y sanitarios revela un cambio fuerte hacia el consumo de este tipo de productos.

La producción per cápita (PPC) de RS domésticos en Cercado parece haber disminuido de 0,54 [kg hab⁻¹ día⁻¹] [2] a un 0,51 [kg hab⁻¹ d⁻¹] según el presente estudios. Los factores para dicho resultado pueden ser diversos: el aumento de conciencia de reciclaje en la sociedad, la necesidad de reutilizar ciertos materiales y no desecharlos como basura, y/o la crisis económica, pero puede que se deba también a la generación de materiales menos densos como los plásticos. A partir de este valor y la población de la ciudad de Cochabamba el año 2006 se estima que se generan unas 298,2 ton día⁻¹ de RS (108.443 ton año⁻¹). Esta cantidad no incluye los RS generados por centros hospitales, limpieza de áreas públicas e industrias.

El resultado del análisis de las opciones de recuperación y reciclaje de materiales muestra que sería posible y económicamente atractivo recuperar y reciclar: plásticos, papel y cartón, aluminio, vidrio y materia orgánica (fabricando compost). Estos materiales, exceptuando la materia orgánica, son recuperados de manera informal por pepenadores que venden estos materiales a acopiadores que luego los revenden a empresas que procesan estos materiales.

Analizando los beneficios, los ingresos que se generarían por la implementación de un sistema de gestión de RS con separación en origen y recuperación y venta de estos materiales, tenemos que se lograría desviar un 43,6% de los materiales, reduciendo en gran medida la proporción de RS que tienen que ser confinados en el vertedero. La reducción en materia orgánica también reduciría las emisiones contaminantes en el vertedero, líquidas y gaseosas, haciendo más fácil y económica su operación; se ahorrarían unos 170 mil US\$ por año, en costos de operación del relleno, además de extender su tiempo de vida útil.

Además de estos beneficios, la venta de materiales recuperados podría generar hasta 3 millones de US\$ al año de ingresos. Los plásticos, papel y cartón y aluminio son los materiales más interesantes para ser reciclados. Si se implementa una planta de procesamiento de plásticos, los beneficios serían aún mayores. Sin embargo, es también atractiva la producción de compost con la materia orgánica, no tanto por los ingresos

que generaría la venta de este producto, sino más bien por los beneficios en cuanto a desvío de RS del relleno sanitario que implicaría menor costo de operación y menor impacto ambiental del relleno y la disponibilidad de materia orgánica para reducir la degradación de suelos agrícolas de la región.

Por todos estos beneficios consideramos que EMSA debe analizar seriamente la opción de implementar un sistema de gestión de RS con separación en origen y la recuperación y reciclaje de materiales. Globalmente se generaría un beneficio de unos 3,2 millones de US\$ al año, por los ingresos y ahorros generados. Esto le permitiría a la empresa superar los problemas económicos que tiene actualmente.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración e interés a la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico que financió en parte el presente trabajo. También deseamos agradecer la colaboración de autoridades y personal de EMSA que brindaron un fuerte apoyo logístico y de información para la realización de este trabajo. Agradecimientos también a Wendy Tórrez que colaboró con el trabajo de campo.

Referencias

- [1] Arandes, D. 2004. Revista Iberoamericana de Polímeros. En: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/MAR04/Danilo2004.pdf>. (Verificado octubre 2006)
- [2] Castellón, J. 1996. Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental. Fundación Simón I. Patiño
- [3] INE (Instituto Nacional de Estadística de Bolivia). 2006. En: <http://www.ine.gov.bo> (Verificado septiembre 2007)
- [4] Jaramillo, J. 2002. Residuos sólidos municipales: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. En: <http://www.cepis.ops-oms.org>. (Verificado septiembre 2007)
- [5] Luján, M. 2003. Propuesta básica para la gestión de residuos sólidos de la zona metropolitana de Cochabamba. Revista Acta Nova. Universidad Católica Boliviana San Pablo. Vol. 2, N° 2. Cochabamba, Bolivia
- [6] Lund, H. 2006. Manual McGraw-Hill de reciclaje. McGraw-Hill.
- [7] Norma Boliviana NB-743. 1996. Norma Boliviana de Residuos Sólidos. IBNORCA. La Paz-Bolivia
- [8] PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2001. En: <http://www.ambiental.net/biblioteca/pnuma/Geo03Cap2Urbano.pdf> (Verificado septiembre 2006)
- [9] Sakurai, K. 2003. Método Sencillo para el Análisis de Residuos Sólidos. En <http://www.cepis.ops-oms.org> (Verificado octubre 2007)

-
- [10] SERGEOMIN (Servicio de Geología y Minería). 1999. Diagnóstico de la situación del relleno sanitario de K'ara K'ara, Cochabamba- Bolivia
- [11] Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. 1994. Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGrawHill. Madrid- España
- [12] Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. 1997. Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGrawHill. Madrid- España
- [13] Villarroel T. 2005. Desarrollo de un sistema de gestión integral de residuos sólidos con separación en origen en una zona del Distrito 12 Cercado, Cochabamba. Tesis de Ingeniería Ambiental. Universidad Católica Boliviana San Pablo, Cochabamba
- [14] World Gazetteer. En: <http://populationstatistics.com/wg.php?x=1136179223&men=srwi&ixt=la&pln=151815&lng=es&dat=32&srt=npan&col=ahdq>. (Verificado julio 2007)