

## **POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE LOS MATERIALES PRESENTES EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE ORIGEN DOMÉSTICO. CASO DE ESTUDIO MUNICIPIO CHACAO – ESTADO MIRANDA, VENEZUELA**

*REBECA SÁNCHEZ, HENRY ALBERTO BLANCO SALAS, ROSARIO ALBERDI, MARÍA VIRGINIA NAJUL*  
Planta Experimental de Tratamiento de Aguas, Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. e- mail:  
rebecaucv@gmail.com

Recibido: febrero 2013

Recibido en forma final revisado: octubre 2013

### **RESUMEN**

Con el propósito de contribuir a subsanar la falta de información que de soporte a la toma de decisiones en materia de recuperación y aprovechamiento de materiales presentes en los residuos sólidos domésticos, se cuantificaron y caracterizaron estos residuos en el municipio Chacao del Estado Bolivariano de Miranda-EBM. El tamaño de la muestra utilizada para el estudio estuvo conformada por 52 hogares agrupados según estrato social: alto (A), medio (B) y bajo (C), definidos de acuerdo con las características del material de construcción de la vivienda. Los resultados indican que la tasa de generación de residuos sólidos doméstico promedio en el sector estudiado, es de 630 g/persona.d., variando con el estrato social como resulta propio de ciudades con diversidad de características. Los valores obtenidos por estrato social considerado fueron 855, 485 y 318 g/persona.d para los estratos A, B y C, respectivamente. El potencial de aprovechamiento de residuos varía con el nivel socioeconómico de la población obteniéndose aportes en el orden de 5,2, 6,4 y 0,6 t/d, para los estratos A, B y C, respectivamente. A nivel municipal la cantidad de residuos potencialmente aprovechables ronda las 12 t/d de las cuales aproximadamente 6,8 t/d están conformadas por materiales reciclables secos con amplias posibilidades para su revaloración. Los materiales con mayor potencial de recuperación en la fracción seca, en orden descendiente de los correspondientes aportes son vidrio, periódicos, polietileno teraftalato – PET, policloruro de vinilo – PVC, hojalata, envases de larga duración, cajas, polietileno de baja densidad – PEBD, polietileno de alta densidad – PEAD, revistas, papel bond, cartón doble faz y aluminio.

Palabras clave: Residuos sólidos domésticos, Tasa de generación, Potencial de aprovechamiento, Materiales reciclables secos.

## **POTENTIAL USE OF EXISTING MATERIALS IN DOMESTIC SOLID WASTE. CASE STUDY: CHACAO MUNICIPALITY – MIRANDA STATE, VENEZUELA**

### **ABSTRACT**

The residues in the Chacao municipality of Miranda state (Venezuela) were quantified and characterized, in order to reduce the lack of information to support decision making in terms of recovery and recycling of materials in domestic solid waste. The sample size used for the study consisted of 52 households grouped by social strata: high (A), middle (B) and low (C), defined taking into account the characteristics of the material of construction of the house. The results indicate that the average rate of generation of solid waste in the sector under study is 605 g/person.d, varying with the social status of population. The values obtained for each status considered (A, B and C) were 855, 485 and 318 g/person.d, respectively. The potential recovery of wastes varies with socioeconomic status of the population obtaining. The contributions were 5.2, 6.4 and 0.6 t/d for A, B and C strata, respectively. At municipal level, these waste represent circa 12 t/d of which approximately 6.8 t/d are formed by dry recyclables with ample opportunities for reuse. The materials in the dry fraction, with greater potential for recovery, in descending order are: glass, newspapers, polyethylene terephthalate - PET, polyvinyl chloride - PVC, tinsplate, tetrabrik, boxes, low density polyethylene - LDPE - high density polyethylene -HDPE, magazines, bond paper, cardboard duplex and aluminum.

Keywords: Domestic solid waste, Generation rate, Potential recovery, Dries recycling materials.

## INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento, manejo adecuado y disposición final segura de los desechos y residuos sólidos (DyRS) generados en la diversidad de actividades humanas, constituye un foco de atención prioritaria mundial (Gómez et al. 2008).

En Venezuela, al igual que en muchos países emergentes, son pocos los avances en materia de gestión integral de residuos sólidos (Sánchez, 2011). Según estudios previos, en el país se recolectan en el orden de 25.500 t/día de desechos y residuos sólidos municipales (AIDIS/OPS-OMS/BID, 2010), cuyo manejo basado en el esquema simplificado generación – recolección –disposición final, en la mayoría de los casos bajo condiciones inseguras, representan un potencial de impacto considerable concentrado en las entidades federales más importantes del país -Zulia, Carabobo, Aragua, Miranda, Lara, Bolívar y Distrito Capital- (Nava, 2008), las cuales albergan el 70% de la población total estimada en 28,9x 106 habitantes (INE, 2011). Sin embargo, se estima que debido a las condiciones de acceso vial prevaleciente en aquellos sectores donde se ha permitido asentamientos humanos en terrenos con topografías abruptas y sin servicios básicos mínimos, el 40% de los desechos generados se dejan de recoger y su destino final es indiscriminado y a cielo abierto (AIDIS/OPS-OMS/BID, 2010).

De la diversidad de tipos de desecho generados en las distintas actividades que se desarrollan en el ámbito municipal -residencial, comercial, mantenimiento urbano, centros de atención a la salud humana y animal e industrial- los de origen doméstico, además de representar una proporción significativa de esta corriente, aproximadamente el 30% o más, dependiendo de las características socioeconómicas de la población, son los más complejos por la heterogeneidad de sus constituyentes y potencialidad de impacto sanitario y ambiental (Gómez et al. 2008). Las condiciones de insalubridad resultantes del manejo inadecuado de estos desechos, representan una amenaza a la salud de las personas y deterioro de los recursos ambientales de similar importancia a las causadas por excretas humanas (Soares, 2002). Cualquier incidencia en los patrones de generación, así como en la recuperación y aprovechamiento de sus constituyentes, puede contribuir a resolver la problemática que ellos representan.

Con el propósito de atenuar el impacto ambiental y sanitario causado por los residuos sólidos de origen doméstico, el planteamiento ha sido incorporar esta corriente a planes y programas de gestión integral de desechos y residuos sólidos urbanos orientados a propiciar la separación y clasificación

eficiente de los constituyentes aprovechables en el origen, optimizar los sistemas de recolección, así como promover e implantar procesos de recuperación, reuso y reciclaje de materiales, destrucción térmica con o sin aprovechamiento de energía, conversión de los materiales biodegradables en abono orgánico y disposición final segura de los materiales inertes no aprovechables (McDougall et al. 2004). Sin embargo, el análisis de estas opciones a la luz de las implicaciones sociales, ambientales, técnicas y económicas, se dificulta debido a la falta de información confiable y representativa sobre la cantidad y composición de los residuos domésticos y su variaciones en función del estrato socioeconómico del generador, uno de los factores que mayor incide en la cantidad y composición de estos desechos.

Con el propósito de proporcionar información que pueda ser aplicable en las ciudades de la Región, el objetivo de este trabajo es determinar el potencial de aprovechamiento de materiales presentes en los desechos y residuos sólidos, entendido como la cantidad de material que puede ser realmente recuperado en las unidades de viviendas, basado en la cuantificación de constituyentes de los residuos de origen doméstico generados en forma individual o combinada en un sector del Área Metropolitana de Caracas, así como la disposición y efectividad de los residentes en la separación de aquellos que sean aprovechables. Adicionalmente se pretende determinar el contenido de humedad libre, densidad aparente y valor calórico de los DyRS de origen doméstico, parámetros físico-químicos indispensables en el momento de seleccionar los esquemas apropiados para el manejo seguro de estas descargas, el dimensionamiento de las instalaciones y equipos requeridos para ello, así como la evaluación de la viabilidad y condiciones para la aplicación de procesos para su posible tratamiento.

## METODOLOGÍA

La estrategia metodológica para lograr el objetivo planteado se describe en los siguientes términos:

**Selección del área de estudio:** El estudio se realizó en el Municipio Chacao del Estado Bolivariano de Miranda, caracterizado por estar conformado por un sector netamente urbano con relativas facilidades para la diferenciación de los estratos socioeconómicos en los cuales puede agruparse la población residente, así como disposición de las autoridades locales a suministrar información, gracias a su solicitud de apoyo técnico para la caracterización y cuantificación de los residuos que allí se generan para los efectos de formular el primer Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales a nivel nacional.

**Diseño del programa de muestreo:** Se realizó utilizando el método de muestreo estratificado proporcional, recomendado por la Oficina Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud-OPS/OMS para los países de la Región América Latina y el Caribe (Cantanhede et al. 2005). De acuerdo con esta metodología, los pasos que se seguirán se resumen en la definición del criterio de estratificación de la población bajo estudio, la determinación del tamaño de la muestra, la selección de las viviendas participantes en el estudio, la ejecución de las mediciones de campo, la verificación de la representatividad de la información obtenida y la estimación de parámetros físico-químicos de interés.

Criterio de estratificación: El criterio utilizado fue el nivel socioeconómico de la población, establecido de acuerdo con las características y ubicación de la residencia de la población. Los estratos identificados fueron: Alto (A): población residente en mansión, quinta, casaquinta y casa -viviendas construidas con materiales de buena calidad-; Medio (B): población residente apartamento en edificio y apartamento en quinta, casaquinta o casa -vivienda construidas con materiales de calidad media y ubicadas en zonas populares- y Bajo (C): población residente en rancho u otro incluyendo refugios y casas de vecindad -vivienda construidas con materiales de mala calidad y ubicadas en zonas populares (INE, 2012).

Determinación del tamaño de la muestra: El tamaño de la muestra se calculó según:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N-1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2} \quad (1)$$

donde:

$n$  = Tamaño de la muestra

$N$  = Tamaño de la población

$Z_{1-\alpha/2}$  = Coeficiente de confianza

$\sigma$  = Desviación estándar de la tasa de generación de DyRS

$E$  = Error permisible (%)

Teniendo en cuenta que, desde el punto de vista estadístico, mejorar la exactitud en la determinación de los parámetros que caracterizan a los DyRS, implica incrementos en el número de muestras y al mismo tiempo éste debe corresponder a un número manejable en función de la disponibilidad de recursos (Gómez, 2008), el tamaño de la muestra fue estimado utilizando como parámetro objetivo la tasa de generación de DyRS, para un intervalo de confianza del 95% y un error permisible del 10%. En consecuencia, el menor número de muestras necesarias para obtener un valor medio de la tasa de generación con

un error de 10% en un intervalo de confianza del 95% y desviación estándar supuesta de 200g/persona fue 52, que repartidas proporcionalmente entre el número de viviendas pertenecientes a cada estrato, resultaron ser 19 para el estrato A, 28 para el estrato B y 5 para el estrato C. Los datos relacionados con el tamaño de la población y su distribución según estrato social en el municipio fueron suministrados por IPCA – Chacao, 2012; s/f)

Selección de las viviendas participantes en el estudio: Se identificaron los sectores del municipio donde predominan los tres estratos establecidos y se seleccionaron aleatoriamente un número de unidades de viviendas repartidas proporcionalmente entre el tamaño de la población.

Mediciones de campo: Esta fase corresponde a todas las actividades orientadas al aseguramiento del éxito del programa de muestreo. El procedimiento aplicado consiste en:

Contactar a la persona responsable del manejo interno de los desechos y someterla a un proceso de inducción a fin de que, en la medida de sus posibilidades, contribuya al acopio y separación en el origen de los distintos tipos de desechos generados y suministrarles los insumos necesarios (bolsas plásticas e instructivos) para ello.

Aplicar un cuestionario y entrevista no estructurada a la persona responsable, a fin de obtener información sobre el manejo interno de sus residuos, así como su disposición a participar en programas de recuperación y reciclaje y las condiciones para ello. Específicamente el cuestionario estuvo orientado a identificar las tendencias predominantes en relación con los hábitos de generación de residuos (tipos de materiales descartados y frecuencia de generación), así como aquellos factores que en opinión de los usuarios deben ser considerados en el momento de la implantación de programas de aprovechamiento de materiales.

Una vez comprometido el residente para su participación en el programa de caracterización, se da inicio al programa en la residencia correspondiente, el cual tuvo una duración de 8 días continuos.

Al final de cada día de muestreo, se procedió a las mediciones del peso de los constituyentes separados en sitio y su registro en la planilla diseñada para tal fin. El peso se midió utilizando una balanza colgante con bandeja para uso doméstico, de capacidad 10 kg y apreciación 0,005 kg.

Al culminar la ejecución del muestreo en cada residencia,

se verificó por inspección la consistencia de los resultados obtenidos, así como la correcta ejecución de las actividades planificadas.

Con este procedimiento se obtuvo la información necesaria para determinar la tasa de generación de residuos de origen doméstico expresada en g/persona.día y la distribución porcentual de constituyentes (%) en cada una de las unidades de viviendas que participaron el estudio, utilizando las siguientes expresiones:

$$\text{Tasa de generación} = \frac{\sum X_i}{r} \quad (2)$$

donde:

$X_i$  = Peso de cada uno de los constituyentes separados  
 $r$  = Número de residentes

$$DPC = \frac{X_i}{\sum X_i} * 100 \quad (3)$$

donde:

$DPC$  = Distribución porcentual de constituyentes (%)  
 $X_i$  = Peso de cada uno de los constituyentes separados

Verificación de la representatividad de la información obtenida: Una vez cubiertas el número de muestras seleccionadas y calculadas las respectivas tasas de generación, se procedió a la verificación de la representatividad estadística de la información obtenida. Partiendo de la premisa de que en la actividad residencial las posibles diferencias en materia de generación de residuos se atribuyen al nivel socioeconómico del generador, se aplicó el siguiente protocolo: Aplicación de la prueba de Dixon, método que permite identificar datos discrepantes en una serie de datos obtenidos de una medición en particular. Si los datos que resultan discrepantes tienen justificación, se retiran del conjunto de datos, mas no se descartan en el momento del análisis de los resultados (Bautista et al. 2004); Verificación del tamaño de muestra utilizando distribución t de Student; Aplicación de pruebas

de significancia para la media de la población y aplicación de la técnica Análisis de Componentes Principales, la cual permite identificar diferencias estadísticamente significativas entre los patrones de comportamientos de las unidades de vivienda pertenecientes a los estratos o categorías de agrupación establecidos (Demey et al. 1992). De no detectarse diferencias significativas, la muestra se considera representativa de la actividad generadora que se está considerando.

Determinación de parámetros físico-químicos de interés: los parámetros seleccionados fueron densidad aparente, contenido de humedad libre y valor calórico, se estimaron a partir de la distribución porcentual de los principales constituyentes identificados y los valores típicos del respectivo parámetro para cada constituyente en particular. La expresión utilizada para ello fue (Tchobanoglous et al. 1994):

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n X_i * f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (4)$$

donde:

$P$  = Parámetro a determinar  
 $X_i$  = Valor típico del parámetro para el constituyente  $i$   
 $f_i$  = Fracción decimal del constituyente  $i$   
 $n$  = Número de constituyentes

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 resume los resultados obtenidos en la determinación de la tasa de generación de DyRS de origen doméstico encontrados a partir del procesamiento de 416 mediciones realizadas en los hogares seleccionados para el estudio, así como la estimación del aporte de esta corriente de residuos en el municipio Chacao del estado Miranda. Los resultados allí expuestos se reportan con una confiabilidad del 95% y error admisible del 15%, condiciones aceptables en materia de caracterización de residuos (CONAMA, 2006).

**Tabla 1.** Tasas de generación de residuos sólidos y estimación de la cantidad de residuos sólidos proveniente de la actividad residencial. Municipio Chacao.

| Estrato Social | Tasa de generación (g/persona-d) |        |            | Población Residente* | Distribución de la población (%) | Generación total (kg/d) |               |               |
|----------------|----------------------------------|--------|------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|
|                | Máximo                           | Mínimo | Promedio   |                      |                                  | Máximo                  | Mínimo        | Promedio      |
| A              | 1.777                            | 255    | 855        | 16.654               | 23,34%                           | 29.594                  | 4.247         | 14.239        |
| B              | 769                              | 261    | 485        | 47.557               | 66,65%                           | 36.571                  | 12.412        | 23.065        |
| C              | 594                              | 128    | 318        | 7.140                | 10,016%                          | 4.241                   | 914           | 2.271         |
| <b>TOTAL</b>   |                                  |        | <b>630</b> | <b>71.351</b>        | <b>100,00%</b>                   | <b>70.407</b>           | <b>17.573</b> | <b>39.575</b> |

\*Información suministrada por IPCA – Chacao (2012)

La distribución porcentual de constituyentes en los residuos sólidos procedentes de la actividad residencial, así como las propiedades fisicoquímicas estimadas, en sus valores máximos, mínimos y promedio, se muestra en la Tabla 2. Destaca la presencia significativa de restos de cocina, restos de vegetales, desechos de papel higiénico o similar, los cuales totalizan en el orden del 65% o más de la corriente para los tres estratos considerados. En menor proporción aparece el vidrio: 6%, 8% y 2% para los estratos A, B y C, respectivamente. Otros elementos (madera, trapos, cerámicos y especiales, entre otros) aparecen en proporciones menores al 5%. Tal composición, en la cual prevalece el alto contenido de constituyentes perteneciente al grupo de orgánicos putrescibles (65%), influye notablemente en los valores obtenidos en la determinación de los parámetros físico químicos: densidad aparente, contenido de humedad y valor calórico de los DyRS de origen doméstico, como se discute a continuación.

El contenido de humedad libre promedio obtenido para la corriente de DyRS domésticos bajo estudio fue 39%, variando entre 37% para los estratos B y C y 44% para el estrato A. Estos resultados significativamente mayores a los reportados como valores típicos para este tipo de desechos (20 – 25%), se atribuyen al importante aporte de humedad proveniente del alto contenido de constituyentes orgánicos putrescibles (> 66% en todos los casos), los cuales presentan el mayor contenido de humedad (70%) entre los constituyentes más comunes de estas descargas.

En términos de las posibles opciones de manejo de estos DyRS, el alto contenido de humedad puede representar un condicionante importante para la efectividad en las diferentes fases de manejo. Entre otras, obliga a una intensa frecuencia de recolección, pues las condiciones de clima predominante en el sector, favorecen la degradación incontrolada de estos materiales, con la consecuente amenaza para la salud y confort de las personas. Asimismo, indica la necesidad de asegurar la separación de la fracción húmeda de otros constituyentes generados, a fin de preservar las condiciones de calidad de estos últimos para su posible revaloración.

La densidad aparente promedio de los DyRS domésticos en el sector bajo estudio fue 195 kg/m<sup>3</sup>, con pocas variaciones para los distintos estratos sociales considerados como se observa en la Tabla 2. Al igual que en el caso anterior, los resultados obtenidos se consideran altos si se comparan con los valores típicos reportados para este tipo de corriente (130 kg/m<sup>3</sup>). Nuevamente la distribución porcentual de los constituyentes influyó en estos resultados. La fracción húmeda junto con el vidrio son los que aportan mayor

peso a los desechos generados y como se ha mencionado anteriormente, estos componentes se incluyen entre los que aparecen en mayor proporción.

El dato relativo a la densidad de los DyRS, resulta de particular importancia para el dimensionamiento y selección de recipientes para su almacenamiento temporal, así como la determinación de la capacidad de las distintas instalaciones para el manejo de estas descargas. A nivel domiciliario, los altos valores de densidad obtenidos, indican la necesidad de recipientes para su almacenamiento temporal, con la suficiente capacidad y resistencia para soportar el peso de los residuos.

Por su parte, el valor calórico promedio de los DyRS bajo estudio fue 10.850 kJ/kg (4665 BTU/lb), variando entre 9.976 kJ/kg para el estrato A y 12.478 kJ/kg para el estrato C. Estos resultados se consideran superiores a los valores esperados para estos DyRS debido a su alto contenido de humedad; sin embargo, se explican debido al importante aporte que puede representar el contenido de plásticos que, como se observa en la Tabla 2, en todos los casos estuvo en el orden del 10%. Este es un factor que debe ser tomado en cuenta al momento de plantear opciones de tratamientos de estos DyRS, pues aun cuando los resultados obtenidos sugieren buena incinerabilidad de los desechos, el relativo alto contenido de plásticos, descarta el uso de incineradores convencionales para la destrucción térmica, a menos de que se separe esa fracción. Adicionalmente conviene destacar la alta variabilidad de los valores obtenidos para las distintas propiedades determinadas, consistentes también con la alta variabilidad de las cantidades generadas de los constituyentes identificados. Esto se evidencia en el amplio intervalo definido por los valores máximos y mínimos obtenidos para cada parámetro reportado en la Tabla 2.

A fin de complementar los resultados obtenidos en la caracterización de los DyRS de origen doméstico, se considera conveniente señalar algunos datos adicionales encontrados en el momento de la aplicación del cuestionario y entrevista estructurada previo a la ejecución del programa de muestreo en las viviendas que participaron en el estudio.

La mayoría de las viviendas en el estrato A y la totalidad del estrato C son casas, mientras que la mayoría en el estrato B fueron apartamentos. Adicionalmente se pudo conocer que en los tres estratos los ocupantes son mayoritariamente adultos (A: 77%, B: 78% y C: 59%), tendencia observada en los datos demográficos del municipio (IPCA – Chacao, 2012).

**Tabla 2.** Distribución porcentual de constituyentes y propiedades físico-químicas – Residuos sólidos domésticos, Municipio Chacao

| Tasa de generación                |  | ESTRATO SOCIAL A            |        |             | ESTRATO SOCIAL B            |        |              | ESTRATO SOCIAL C            |        |              |
|-----------------------------------|--|-----------------------------|--------|-------------|-----------------------------|--------|--------------|-----------------------------|--------|--------------|
|                                   |  | Máxima                      | Mínima | Promedio    | Máxima                      | Mínima | Promedio     | Máxima                      | Mínima | Promedio     |
| Producción diaria (g/d)           |  | 19140                       | 0      | <b>2635</b> | 4934                        | 40     | <b>1590</b>  | 5600                        | 300    | <b>2251</b>  |
| Producción unitaria (g/persona-d) |  | 9570                        | 0      | <b>855</b>  | 1645                        | 13     | <b>485</b>   | 1450                        | 66     | <b>318</b>   |
| Tipo de Desecho                   | Constituyente                              | Distribución Porcentual (%) |        |             | Distribución Porcentual (%) |        |              | Distribución Porcentual (%) |        |              |
|                                   |  | Máxima                      | Mínima | Promedio    | Máxima                      | Mínima | Promedio     | Máxima                      | Mínima | Promedio     |
| Orgánicos<br>Putrescibles         | Restos de cocina                           | 100                         | 0      | <b>27</b>   | 86                          | 0      | <b>33</b>    | 100                         | 0      | <b>34</b>    |
|                                   | Restos de vegetales                        | 61                          | 0      | <b>13</b>   | 66                          | 0      | <b>16</b>    | 60                          | 0      | <b>16</b>    |
|                                   | Res. papel higiénico o similares           | 67                          | 0      | <b>7</b>    | 94                          | 0      | <b>15</b>    | 63                          | 0      | <b>18</b>    |
|                                   | Restos de jardín                           | 98                          | 0      | <b>19</b>   | 59                          | 0      | <b>2</b>     | 0                           | 0      | <b>0</b>     |
| Plásticos                         | Pet N° 1 (PolietilenoTeraftalato)          | 23                          | 0      | <b>3</b>    | 56                          | 0      | <b>3</b>     | 20                          | 0      | <b>5</b>     |
|                                   | HDPE N° 2 (Polietileno alta densidad)      | 12                          | 0      | <b>1</b>    | 50                          | 0      | <b>1</b>     | 29                          | 0      | <b>2</b>     |
|                                   | PVC N° 3 (Policluro de vinilo)             | 70                          | 0      | <b>6</b>    | 18                          | 0      | <b>1</b>     | 77                          | 0      | <b>4</b>     |
|                                   | LDPE N° 4 (Polietileno baja densidad)      | 15                          | 0      | <b>1</b>    | 36                          | 0      | <b>1</b>     | 11                          | 0      | <b>1</b>     |
|                                   | PP N° 5 (Polipropileno)                    | 7                           | 0      | <b>0</b>    | 9                           | 0      | <b>0</b>     | 5                           | 0      | <b>0</b>     |
|                                   | PS N° 6 (Poliestireno)                     | 6                           | 0      | <b>1</b>    | 11                          | 0      | <b>1</b>     | 5                           | 0      | <b>0</b>     |
|                                   | Otros N° 7                                 | 7                           | 0      | <b>0</b>    | 16                          | 0      | <b>1</b>     | 6                           | 0      | <b>0</b>     |
|                                   | Envases de cartón plasticubierto           | 27                          | 0      | <b>1</b>    | 30                          | 0      | <b>1</b>     | 20                          | 0      | <b>1</b>     |
|                                   | Envases de larga duración                  | 51                          | 0      | <b>3</b>    | 50                          | 0      | <b>1</b>     | 0                           | 0      | <b>2</b>     |
| Papel y Cartón                    | Papel bond                                 | 33                          | 0      | <b>1</b>    | 25                          | 0      | <b>1</b>     | 11                          | 0      | <b>1</b>     |
|                                   | Cartón corrugado                           | 61                          | 0      | <b>1</b>    | 29                          | 0      | <b>1</b>     | 50                          | 0      | <b>2</b>     |
|                                   | Cartón (DF)                                | 17                          | 0      | <b>1</b>    | 36                          | 0      | <b>1</b>     | 13                          | 0      | <b>1</b>     |
|                                   | Revistas                                   | 50                          | 0      | <b>1</b>    | 25                          | 0      | <b>1</b>     | 25                          | 0      | <b>2</b>     |
|                                   | Periódicos                                 | 52                          | 0      | <b>2</b>    | 60                          | 0      | <b>5</b>     | 33                          | 0      | <b>4</b>     |
|                                   | Carpetas manila                            | 4                           | 0      | <b>0</b>    | 44                          | 0      | <b>1</b>     | 0                           | 0      | <b>0</b>     |
|                                   | Envases para huevos                        | 30                          | 0      | <b>1</b>    | 45                          | 0      | <b>1</b>     | 9                           | 0      | <b>1</b>     |
|                                   | Cajas                                      | 71                          | 0      | <b>1</b>    | 33                          | 0      | <b>2</b>     | 31                          | 0      | <b>3</b>     |
| Metálicos                         | Aluminio                                   | 33                          | 0      | <b>1</b>    | 38                          | 0      | <b>1</b>     | 10                          | 0      | <b>1</b>     |
|                                   | Hojalata                                   | 48                          | 0      | <b>2</b>    | 34                          | 0      | <b>2</b>     | 8                           | 0      | <b>1</b>     |
|                                   | Cobre                                      | 1                           | 0      | <b>0</b>    | 4                           | 0      | <b>0</b>     | 0                           | 0      | <b>0</b>     |
|                                   | Bronce                                     | 0                           | 0      | <b>0</b>    | 0                           | 0      | <b>0</b>     | 0                           | 0      | <b>0</b>     |
|                                   | Acero                                      | 10                          | 0      | <b>0</b>    | 21                          | 0      | <b>0</b>     | 12                          | 0      | <b>0</b>     |
| Vidrio                            | Vidrio                                     | 48                          | 0      | <b>6</b>    | 53                          | 0      | <b>8</b>     | 13                          | 0      | <b>2</b>     |
| Otros                             | Madera, trapos, cerámica, especiales, etc. | 11                          | 0      | <b>0</b>    | 36                          | 0      | <b>1</b>     | 0                           | 0      | <b>0</b>     |
| Propiedades Físicoquímicas        | Densidad promedio (kg/m3)                  | 419                         | 75     | <b>194</b>  | 277                         | 62     | <b>195</b>   | 290                         | 105    | <b>189</b>   |
|                                   | Contenido de humedad libre (%)             | 70                          | 2      | <b>44</b>   | 65                          | 2      | <b>37</b>    | 70                          | 13     | <b>37</b>    |
|                                   | Valor calórico (kj/kg)                     | 25041                       | 4087   | <b>9976</b> | 32600                       | 4329   | <b>10914</b> | 27102                       | 4650   | <b>12478</b> |

Con respecto al manejo interno que hacen los residentes de los desechos, se pudo establecer que la mayoría (más del 67% de los consultados en los estratos A, B y C) almacenan los residuos en bolsas plásticas pequeñas (menores a 15 l) descartando diariamente entre una (1) y tres (3) bolsas. Más del 50% de los hogares pertenecientes a los estratos A y B, reconocen la generación al menos semanal de cartón y envases de plástico, Tetrabrik®, hojalata, aluminio y vidrio. En el caso del papel y bolsas plásticas, la frecuencia es diaria. Por su parte la mayoría de los hogares pertenecientes al estrato C, señalan prácticamente los mismos constituyentes, sólo que con una menor frecuencia de descarte (semanal o mensual).

En cuanto a la generación de residuos especiales -aquellos que revisten cierta peligrosidad-, el porcentaje de hogares en el cual se reconoce la generación de algunos de los residuos especiales considerados (pilas, potes de aerosol, bombillos, recipientes de aceite para carros o medicinas vencidas), así como la frecuencia con la que son descartados es muy variable. Destaca la generación de bombillos en el estrato A con frecuencia trimestral, así como pilas y medicinas vencidas en el estrato C, con frecuencia mensual.

Llama la atención que más del 60% de los residentes que participaron en el estudio, manifestó su desacuerdo con la ejecución de alguna actividad de separación y recuperación de algún constituyente de sus residuos sólidos, señalando la falta de tiempo en el estrato A y la falta de espacio en B y C, como la principal causa. Esta situación es preocupante en el momento de asegurar la sostenibilidad de cualquier iniciativa en materia de recuperación y aprovechamiento de residuos en la localidad bajo estudio.

A propósito de ofrecer información que facilite la toma de decisiones en esta materia, se determinó el potencial de aprovechamiento de materiales presentes en los residuos domésticos generados en el municipio, en términos de la cantidad de material que puede ser realmente recuperado en las unidades de viviendas y que tenga posibilidades reales de ser sometido a algún proceso de revaloración en el Área Metropolitana de Caracas y zonas adyacentes.

Tal como se muestra en la Tabla 3, los materiales con mayor potencial de recuperación en la fracción seca, en orden descendente de los correspondientes aportes son: vidrio, periódicos, polietileno teraftalato – PET, policloruro de vinilo – PVC, hojalata, envases de larga duración, cajas, polietileno de baja densidad – PEBD, polietileno de alta densidad – PEAD, revistas, papel bond, cartón doble faz y aluminio. El total de estos materiales asciende a 6,8 t/d proveniente de la actividad residencial a nivel municipal, correspondiendo al estrato B los mayores aportes (~4 t/d). Su potencial recuperación tiene una incidencia del orden del 17% en el total de residuos generados en la actividad residencial.

La cantidad total de residuos potencialmente recuperables en el Municipio (incluyendo los recuperables húmedos) está en el orden de 12,2 t/d y representa alrededor del 31% del total de residuos generados por la actividad residencial, a nivel municipal. Nuevamente el estrato B es el que aporta la mayor proporción.

**Tabla 3.** Potencial de recuperación de materiales aprovechables – Residuos domésticos Municipio Chacao

| Material Aprovechable   |   |                                       | ESTRATO SOCIAL |              |               | TOTAL MUNICIPIO |              |               |
|---|---|---------------------------------------|----------------|--------------|---------------|-----------------|--------------|---------------|
|   |   |                                       | A              | B            | C             | Máximo          | Mínimo       | Promedio      |
|   |   |                                       | Aporte (t/d)   |              |               |                 |              |               |
| Fracción Húmeda   | Orgánicos putrescibles                        | Restos de vegetales                   | 1,146          | 2,148        | 0,223         | 6,204           | 1,587        | 3,517         |
|   |   | Restos de jardín                      | 1,588          | 0,210        | 0,000         | 3,633           | 0,587        | 1,798         |
|   | <b>Sub Total Fracción Húmeda Aprovechable</b> |                                       | <b>2,734</b>   | <b>2,358</b> | <b>0,223</b>  | <b>9,837</b>    | <b>2,174</b> | <b>5,315</b>  |
| Fracción Seca   | Plásticos                                     | PET (1)-Polietileno Teraftalato       | 0,249          | 0,455        | 0,064         | 1.359           | 0,345        | 0,768         |
|   |   | PEAD (2)-Polietileno de alta densidad | 0,082          | 0,197        | 0,036         | 0,549           | 0,145        | 0,315         |
|   |   | PVC (3)- Policloruro de Vinilo.       | 0,500          | 0,080        | 0,049         | 1.257           | 0,212        | 0,629         |
|   |   | PEBD(4)-Polietileno de baja densidad  | 0,102          | 0,204        | 0,015         | 0,562           | 0,146        | 0,320         |
|   |   | Envases de larga duración             | 0,238          | 0,188        | 0,000         | 0,792           | 0,172        | 0,426         |
|   | <b>Sub Total Plásticos Aprovechable</b>       |                                       | <b>1,171</b>   | <b>1,124</b> | <b>0,163</b>  | <b>4,519</b>    | <b>1,020</b> | <b>2,457</b>  |
|   | Papel y Cartón                                | Papel bond                            | 0,125          | 0,158        | 0,010         | 0,530           | 0,126        | 0,293         |
|   |   | Cartón (DF)                           | 0,064          | 0,131        | 0,007         | 0,433           | 0,104        | 0,202         |
|   |   | Revistas                              | 0,109          | 0,173        | 0,023         | 0,545           | 0,135        | 0,306         |
|   |   | Periódicos                            | 0,163          | 0,631        | 0,058         | 1,448           | 0,411        | 0,852         |
|   |   | Cajas                                 | 0,115          | 0,228        | 0,038         | 0,672           | 0,172        | 0,381         |
|   | <b>Sub Total Papel y Cartón Aprovechable</b>  |                                       | <b>0,577</b>   | <b>1,321</b> | <b>0,137</b>  | <b>3,627</b>    | <b>0,949</b> | <b>2,035</b>  |
|   | Metálicos                                     | Aluminio                              | 0,052          | 0,122        | 0,018         | 0,335           | 0,088        | 0,192         |
|   |   | Hojalata                              | 0,213          | 0,243        | 0,012         | 0,851           | 0,199        | 0,468         |
|   | <b>Sub Total Metálicos Aprovechable</b>       |                                       | <b>0,265</b>   | <b>0,365</b> | <b>0,030</b>  | <b>1,186</b>    | <b>0,288</b> | <b>0,660</b>  |
|   | Vidrio  | Vidrio                                | 0,493          | 1,170        | 0,028         | 2,932           | 0,788        | 1,691         |
|   | <b>Sub Total Vidrio Aprovechable</b>          |                                       | <b>0,493</b>   | <b>1,170</b> | <b>0,028</b>  | <b>2,932</b>    | <b>0,788</b> | <b>1,691</b>  |
| <b>Sub Total Fracción Seca Aprovechable</b>                     |   | <b>2,504</b>                          | <b>3,980</b>   | <b>0,359</b> | <b>12,265</b> | <b>3,044</b>    | <b>6,843</b> |               |
| <b>Potencial de Recuperación Materiales Aprovechables (t/d)</b> |   |                                       | <b>5,239</b>   | <b>6,338</b> | <b>0,581</b>  | <b>22,102</b>   | <b>5,219</b> | <b>12,158</b> |
| <b>Producción diaria (t/d)</b>                                  |   |                                       | 14,239         | 23,065       | 2,271         | 70,407          | 17,573       | 39,575        |
| <b>Potencial de recuperación de materiales secos (%)</b>        |   |                                       | <b>18%</b>     | <b>17%</b>   | <b>16%</b>    | <b>17%</b>      | <b>17%</b>   | <b>17%</b>    |
| <b>Potencial total de recuperación (%)</b>                      |   |                                       | <b>37%</b>     | <b>27%</b>   | <b>26%</b>    | <b>31%</b>      | <b>30%</b>   | <b>31%</b>    |

## CONCLUSIONES

La tasa de generación de residuos sólidos doméstico en el Municipio Chacao del EBM promedio es de 630 g/persona.d variando, como es propio de ciudades con diversidad de características urbanas y sociales, entre 318 y 1777 g/persona.d. Los valores obtenidos por estrato social considerado fueron 855, 485 y 318 g/persona.d para los estratos A, B y C, respectivamente.

El potencial de aprovechamiento de residuos varía con el nivel socioeconómico de la población obteniéndose aportes en el orden de 5,2, 6,4 y 0,6 t/d, para los estratos A, B y C, respectivamente. A nivel municipal la cantidad de residuos potencialmente aprovechables ronda las 12 t/d de las cuales aproximadamente el 6,8 t/d están conformadas por materiales reciclables secos con amplias posibilidades para su revaloración.

El aprovechamiento de la fracción seca representaría una reducción en el orden del 30% de esta corriente de residuos, siempre y cuando se asegure la infraestructura técnica necesaria para el aprovechamiento y transformación de esos materiales y el respectivo respaldo institucional.

Los materiales con mayor potencial de recuperación en la fracción seca, en orden descendiente de los correspondientes aportes son: vidrio, periódicos, polietileno teraftalato – PET, policloruro de vinilo – PVC, hojalata, envases de larga duración, cajas, polietileno de baja densidad – PEBD, polietileno de alta densidad – PEAD, revistas, papel bond, cartón doble faz y aluminio

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Autónomo Municipal de Protección Civil y Ambiente – IPCA, de la Alcaldía del Municipio Chacao y al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación – FONACIT por la oportunidad y financiamiento brindado para darle continuidad a la línea de investigación: Aprovechamiento de residuos sólido, en cuyo marco se realizó el presente trabajo.

## REFERENCIAS

- AIDIS/OPS-OMS/BID - ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL-ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD / ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD - BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO -. (2010). Evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y El Caribe 2010 – Informe Analítico por País: República Bolivariana de Venezuela elaborado por Rebeca Sánchez – Facultad de Ingeniería -UCV. 49 p.
- BAUTISTA, F., GONZÁLEZ, D., PALACIO P., J.L., DELGADO C., M. (2004). Técnicas de Muestreo para Manejadores de Recursos Naturales. Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Yucatán, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Instituto Nacional de Ecología. México DF, México, 508p.
- CANTANHEDE, A., SANDOVAL, L., MONGE, G., CAYCHO, C. (2005). Procedimientos estadísticos para la caracterización de residuos sólidos en América Latina y El Caribe. HDT – N°97 OPS/OMS, 8p.
- CONAMA - COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE REGION METROPOLITANA. (2006). Caracterización de residuos sólidos domiciliarios en la Región Metropolitana – Valparaíso Chile. Informe técnico realizado por Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería en Construcción, Grupo de Residuos Sólidos, 118p.
- DEMEY, J.R., ADAMS, M., FREITES, H. (1992). Uso del método de Análisis de Componentes Principales para la caracterización de fincas agropecuarias. *Agronomía Tropical*, 44 (3), 1-16.
- GOMEZ, G., MENESES, M., BALLINAS, L., CASTELLS, F. (2008). Seasonal Characterization of municipal solid waste (MSW) in the City of Chihuahua, México, *Waste Management*, 29; 2018-2024.
- INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (2011). Población total preliminar al 30/10/2011. Documento en línea: <http://www.ine.gov.ve/>. Fecha de consulta: 15-08-2012.
- INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (2012). XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. Resultados por Entidad Federal y Municipios del Estado Miranda. Gerencia General de Censo de Población y Vivienda, Caracas, 38.
- IPCA – CHACAO. (2012). Distribución de la población del Municipio Chacao según estrato socioeconómico. Comunicación personal con María del Carmen Polanco y Elizabeth Ramírez, Asesoras del IPCA – Chacao.

- IPCA – CHACAO. (S/F). Información catastral Municipio Chacao - Valores de terrenos e inmuebles de las urbanizaciones y sectores; Registro de industria y comercio del Municipio Chacao, suministrada por Personal IPCA – Chacao.
- MCDUGALL, F., WHITE, P., FRANKE, M., HINDLE, P. (2004). Gestión Integral de Residuos Sólidos: Inventario de Ciclo de Vida. Publicado por Procter & Gamble Industrial, S.C.A. 624 p.
- NAVA, M.F. (2008). Implicaciones ambientales derivadas del manejo y disposición final de los desechos sólidos en Venezuela. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Licenciada en Geografía Facultad de Humanidades-UCV. Tutor Rebeca Sánchez.
- SÁNCHEZ, R. (2011). Algunas estrategias para Abordar el Manejo de los Desechos Sólidos Urbanos en Localidades con Alta Complejidad Urbana y Social en Educar para el Desarrollo Sostenible II, experiencias de investigación en sostenibilidad urbana, gestión ambiental y riesgo. Compilado por Chacón, R.M y Rastelli, V., Editorial Equinoccio. Universidad Simón Bolívar, 261-285.
- SOARES, L.C. (2002). Guía metodológica para la preparación de planes directores del manejo de los residuos sólidos municipales en ciudades intermedias. Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud, División de Salud y Ambiente, Washington D.C, 25 -28.
- THOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. (1994). Gestión integral de residuos sólidos Vol 1. McGraw-Hill. España, 607p.