

En español

In English

## Cuantificación y caracterización local: una herramienta básica para la gestión integral de los residuos sólidos residenciales

Luis F. Marmolejo R.<sup>1</sup>, Rafael A. Klinger A.<sup>2</sup>, Carlos A. Madera P.<sup>3</sup>, Javier Olaya O.<sup>4</sup>, Carolina Marcos B.<sup>5</sup> y José A. Ordóñez A.<sup>6</sup>

### RESUMEN

Entre enero y septiembre de 2006 se desarrolló un programa de muestreo y caracterización de los residuos sólidos (RS) residenciales en Santiago de Cali que requirió del diseño de una estrategia aún no reportada para el país y cuyos resultados evidencian la necesidad de ajustar el esquema de clasificación de los RS propuesto a nivel nacional. El marco muestral disponible hizo necesaria la ejecución de un muestreo bietápico por conglomerados, siendo la primera etapa el lado de manzana (LDM) y la segunda la vivienda. La producción per cápita de residuos —PPC— estimada fue de 0,39 kg/hab.día, aumentando con el estrato socioeconómico. Los residuos de comida constituyeron la categoría de mayor generación, con significativas cantidades de alimentos preparados. Los residuos provenientes de la higiene personal, aunque no aparecen en la clasificación de la Norma Técnica Nacional (RAS, 2000), fueron la tercera categoría por las cantidades generadas. Aunque las técnicas de caracterización tienen cierto grado de universalidad, los resultados muestran la pertinencia de la caracterización local, basada en los marcos muestrales disponibles, utilizando información propia para la escogencia de los métodos de muestreo y los tamaños de muestra asociados.

**Palabras clave:** clasificación de residuos, lado de manzana, marco muestral, plan de muestreo, producción per cápita (PPC).

Recibido: marzo 30 de 2009

Aceptado: abril 15 de 2010

<sup>1</sup> Ingeniero Sanitario. M.Sc., en Administración de Salud, Universidad del Valle. Cali, Colombia. Candidato a Ph.D., Universidad del Valle, Cali, Colombia. Profesor Asistente, Facultad de Ingeniería, Escuela EIDENAR, Universidad del Valle, Cali, Colombia. lufermar@univalle.edu.co

<sup>2</sup> Licenciado en Matemáticas, Universidad Santiago de Cali, Cali, Colombia. Estadístico, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Profesor Titular, Universidad del Valle. Profesor Titular, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería. rafael.klinger@correounivalle.edu.co

<sup>3</sup> Ingeniero Sanitario, Universidad del Valle, Colombia. M.Sc., en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, UNESCO-IHE, Holanda. Estudiante Ph.D., Universidad del Valle, Cali, Colombia. Profesor Asistente, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela EIDENAR, Colombia. cmadera@univalle.edu.co

<sup>4</sup> Tecnólogo Químico, Universidad del Valle. Estadístico, Universidad del Valle. MSc, Clemson University. Ph.D., Clemson University. Profesor Titular, Industrial y Estadística, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería. Colombia. javier.olaya@correounivalle.edu.co

<sup>5</sup> Ingeniero Sanitario, Universidad del Valle. M.Sc., en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, UNESCO-IHE, Holanda. Estudiante Ph.D., Universidad del Valle. Cali, Colombia. Profesor Asistente, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Escuela EIDENAR. cmadera@univalle.edu.co

<sup>6</sup> Ingeniero Sanitario, Ingeniero Industrial, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Fraunhofer IGB (www.igb.fraunhofer.de). joseabdonordonez@hotmail.com

## Local quantification and characterisation represents a basic tool for integrated residential solid waste management

Luis F. Marmolejo R.<sup>7</sup>, Rafael A. Klinger A.<sup>8</sup>, Carlos A. Madera P.<sup>9</sup>, Javier Olaya O.<sup>10</sup>, Carolina Marcos B.<sup>11</sup> and José A. Ordóñez A.<sup>12</sup>

### ABSTRACT

A sampling and characterisation plan for residential solid waste (SW) produced in the city of Cali in Colombia was developed between January and September 2006; this required designing an undisclosed strategy in the country and the results showed the need for an adjustment to the current SW Colombian classification scheme. The available sampling frame made a two-stage sampling plan necessary, block side (BS) being the first stage and household BS the second. A 0.39 kg/(person-day) solid waste per-capita production (PCP) was found, which increased with socioeconomic status. Food waste was produced most, a large part consisting of cooked food. Waste from personal hygiene items was a third category, although this is not currently a category which is included in Colombian Technical Standard –RAS 2000. Although characterisation techniques are used worldwide, the results showed the relevance of available sampling frame-based local characterisation, using local data for sampling methods and associated sample size selection.

**Keywords:** solid waste classification, block side, sampling framework, sampling plan, per-capita production (PCP).

Received: march 30th 2009

Accepted: april 15th 2010

<sup>7</sup> Sanitary Engineer. M.Sc., in Health Administration, Universidad del Valle. Cali, Colombia. Ph.D. candidate, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Assistant Professor, School of engineering, Escuela EIDENAR, Universidad del Valle, Cali, Colombia. lufermar@univalle.edu.co

<sup>8</sup> Bachelor of Mathematics, Universidad Santiago de Cali, Cali, Colombia. Statistical, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Professor, Universidad del Valle. Professor, School of engineering, Escuela de Ingeniería. rafael.klinger@correounivalle.edu.co

<sup>9</sup> Health Engineering, Universidad del Valle, Colombia. M.Sc., in Sanitary and Environmental Engineering, UNESCO-IHE, Holanda. Ph.D. Student, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Assistant Professor, Universidad del Valle, School of engineering, Escuela EIDENAR, Colombia. cmadera@univalle.edu.co

<sup>10</sup> Chemical Technologist, Universidad del Valle. Statistical, Universidad del Valle. MSc, Clemson University. Ph.D., Clemson University. Professor, Industrial and Statistics, School of engineering, Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería. Colombia. javier.olaya@correounivalle.edu.co

<sup>11</sup> Sanitary Engineer, Universidad del Valle. M.Sc., in Sanitary and Environmental Engineering, UNESCO-IHE, Holanda. Ph.D. Student, Universidad del Valle. Cali, Colombia. Assistant Professor, School of engineering, Universidad del Valle, Escuela EIDENAR. cmadera@univalle.edu.co

<sup>12</sup> Sanitary Engineer, Industrial Engineering, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Fraunhofer IGB (www.igb.fraunhofer.de). joseabdonordonez@hotmail.com

## Introduction

En Colombia la generación creciente de residuos sólidos (RS) y la pérdida del potencial de utilización de éstos han sido identificados como aspectos fundamentales asociados con la problemática ambiental del país (Minambiente, 1998). En la búsqueda de soluciones, el Gobierno Nacional promulgó normas como el Decreto 1713 de 2002 y la Resolución 1045 de 2003, a través de las cuales comprometió a los municipios con la formulación e implementación de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS). En coherencia con la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) y en armonía con los lineamientos planteados a nivel mundial en eventos como la Cumbre de Río y la Cumbre de Johannesburgo, se definió la jerarquía para la gestión de los RS, que integra, en su orden, la reducción en la generación, su aprovechamiento y valoración, el tratamiento y la disposición final (Minambiente, 2002).

Un elemento fundamental para la intervención en todas las opciones incluidas en la jerarquía es el de la disponibilidad de información confiable sobre cantidades y composición de los RS; sin embargo, autores como Díaz *et al.* (2002) señalan que “en la mayoría de los países en desarrollo existe poca información sobre las características de los residuos generados” y además que “el número de programas de caracterización de residuos adecuadamente planeados y desarrollados es muy limitado”. Al respecto, Hrivstosky *et al.* (2007) señalan que los estudios de caracterización de corto tiempo pueden ser la alternativa para resolver la carencia de datos válidos (necesarios para una eficiente gestión de los RS) y también que su ejecución no requiere de grandes cantidades de recursos.

La falta de datos sobre las características de los RS no era ajena a Santiago de Cali, la segunda ciudad colombiana en población, donde para dar cumplimiento a las estrategias planteadas en el PGIRS se requirió de información relativa a la cuantificación y composición de los RS de origen residencial, encontrando que la disponible, además de haber sido obtenida aproximadamente diez años atrás, presentaba limitaciones en elementos como el marco muestral y el proceso de selección de la muestra, e incluso no contenía la requerida para efectuar estimaciones de tamaño de muestra.

Para remediar esta situación el Departamento Administrativo de Planeación de Cali (DAP) y la Universidad del Valle realizaron en 2006 un estudio de muestreo y caracterización en el cual se estructuró una metodología basada en criterios estadísticos de muestreo, diferenciándose de otros estudios recientes que basan sus conclusiones en otras formas de muestreo (Klinger *et al.*, 2009). Como resultado, se evidenció la necesidad de ampliar las categorías incluidas en el esquema de clasificación propuesto a nivel nacional en el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento - RAS 2000 (Mindesarrollo, 2000) y también se obtuvo información de producción y composición de RS por estratos socioeconómicos, mostrando la necesidad de establecer estrategias de intervención específicas.

## Metodología

### Diseño del plan de muestreo

La población a muestrear estuvo integrada por las viviendas habitadas que conforman los LDM que se encuentran en una base de datos (marco muestral) suministrada por el DAP.

## Introduction

The growing generation of solid waste (SW) and potential utilisation loss of these residues have been identified as fundamental aspects associated with Colombia's environmental problems (Minambiente, 1998). The Colombian Government has laid down standards in the search for solutions to such problems, such as Decree 1713/2002 and resolution 1045/2003 committing all Colombian municipalities to formulating and implementing Integrated Solid Waste Management Plans (ISWMP). The SW management hierarchy has been defined in coherence with integrated solid waste management (ISWM) and in harmony with the intervention lineaments stated worldwide during events such as the Rio and Johannesburg summits; such hierarchy was aimed at integrating reduced generation, recovery and valuation, treatment and final disposal of SW (Minambiente 2002).

A fundamental element for intervention in any of the options included in the hierarchy is the availability of reliable information regarding waste generation and composition. However, researchers like Diaz (Diaz *et al.*, 2002) have pointed out that, “in most developing countries there is a very limited amount of reliable information dealing with the characteristics of the waste generated,” and moreover, that, “only a limited number of properly planned and executed waste characterisation programmes have been carried out.” Authors like Hrivstosky (Hrivstosky *et al.*, 2007) have pointed out that short-term characterisation studies may be an alternative for solving the lack of scientifically-valid data necessary for efficient solid waste management and, furthermore, that its execution does not require large amounts of funds or resources.

There was a lack of information about SW characteristics with regard to Cali (the second Colombian city in terms of population) information regarding residential SW quantification and composition was required to comply with planned ISWMP strategies, finding that the available data, besides having been obtained ten years before, showed limitations in elements such as the sampling framework and sample selection and did not include the required information for estimating sample size.

Cali's Planning Department (DAP) and the Universidad del Valle carried out a sampling and characterisation study in 2006 to solve this situation in which statistical sample criteria-based methodology was structured, unlike recent studies basing their conclusions on other sampling forms (Klinger *et al.*, 2009). As a result, the need for enlarging the categories included in the classification scheme proposed nationwide in the Republic of Colombia's Technical Regulation of Potable Water and Improvement (RAS 2000) (Mindesarrollo, 2000) was identified; information on production and composition by economic socioeconomic stratum was thus obtained, indicating the need for establishing specific intervention strategies

## Methodology

### Sampling plan design

The sampling population consisted of households formed by block side (BS) found on DAP's database (sampling framework).

En español

En este marco muestral está consignada la información sobre LDM por comuna, clasificada por estrato socioeconómico, siguiendo la clasificación nacional de estratos socioeconómicos establecida en la Ley 142 de 1994 (Congreso de Colombia, 1994). Un lado de manzana (LDM) se define como un conjunto de viviendas que ocupan uno de los dos lados opuestos de una calle, de una esquina a la siguiente (Klinger, *et al.*, 2009). En la tabla 1 se presenta la información sobre el número de LDM por estrato socioeconómico de Cali.

Teniendo en cuenta que a través del LDM se debía llegar a las viviendas fue necesario diseñar un programa de muestreo bietápico por conglomerados. El diseño contempló dos poblaciones: los RS producidos en las viviendas habitadas del área urbana del municipio de Santiago de Cali por estrato socioeconómico, y el número de habitantes del área urbana, siendo éstos los generadores de la primera población

Tabla 1. Clasificación socioeconómica y distribución de LDM residenciales de Santiago de Cali

Estrato	Significado Socioeconómico	No. Total de Lados
1	Bajo-Bajo	7,366
2	Bajo	11,611
3	Medio-Bajo	11,850
4	Medio	2,416
5	Medio Alto	2,753
6	Alto	716
Total de lados		36,712

Fuente: Creación propia a partir de datos del estudio DAP-Universidad del Valle (2006).

Para las dos poblaciones se tuvieron en cuenta las siguientes delimitaciones:

- Espacial: área urbana del municipio de Santiago Cali (cobertura geográfica).
- Temporal: enero-septiembre de 2006.
- Por características de cada población: viviendas con vocación habitacional y personas que permanecieran durante el periodo de muestreo, generando RS.

En cada estrato la muestra fue obtenida mediante un modelo probabilístico por conglomerados bietápico con estimadores de razón. En dicho modelo el conglomerado es el LDM y de éste se seleccionó aleatoriamente un número de viviendas proporcional al total del lado (Klinger *et al.*, 2009).

La variable objeto de estudio utilizada para la estimación del tamaño de muestra fue la producción per cápita (PPC) asociada con la vivienda *j* del lado *i* del estrato *h*, representada como  $Y_{hij}$ . El propósito del plan de muestreo fue el de estimar la cantidad promedio de RS por persona/día  $\bar{Y}$  en la ciudad. Para lograrlo fue necesario ponderar la estimación de él realizada en cada uno de los estratos socioeconómicos según la proporción de lados y viviendas que tiene cada estrato. La ecuación (1) presenta la expresión general utilizada para la estimación de la PPC.

$$\hat{Y} = \sum_{h=1}^6 W_h \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{n_h} \frac{M_{hi}}{m_{hi}} \sum_{j=1}^{m_{hi}} Y_{hij}}{\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}} \right\} \quad (1)$$

In English

BS information in this sampling framework was organised by community, classified by socioeconomic strata regarding the national classification of socioeconomic strata established by Law 142/1994 (Congreso de Colombia, 1994). A BS was defined as being a household set occupying one of the two opposite sides of a street, from one corner to the other (Klinger *et al.*, 2009). Table 1 shows information about the number of BS by socioeconomic stratum in Cali.

A conglomerate bi-stage sampling programme had to be designed taking into account that households would be arrived at through the BS. The design included two populations: SW produced by the number of households in the urban area of Cali by socioeconomic strata and the number of inhabitants in the urban area, these being generators of the first population

Table 1. Socioeconomic classification and distribution of residential BS of Cali

Strata	Socioeconomic meaning	Numbers of BS
1	Low-Low	7,366
2	Low	11,611
3	Medium-Low	11,850
4	Medium	2,416
5	Medium High	2,753
6	High	716
Total BS		36,712

Source: own creation from DAP – Universidad del Valle study data (2006)

The following delimitations were taken into consideration for the two populations:

- Space: Cali’s urban area (geographical coverage).
- Period: from January to September 2006
- Each population’s characteristics: households (residential classification) and people who were staying there during the sampling period, generating residential SW.

A sample was taken in each stratum using a bi-stage conglomerate probability model, with reasoning estimates. A conglomerate is the BS in this model and a number of households proportional to total BS was randomly selected from this (Klinger *et al.*, 2009).

The variable object of study used for estimating sample size was per-capita production (PCP) associated with household *j* from side *i* of stratum *h*, represented as  $Y_{hij}$ . The sampling plan was aimed at estimating the average amount of SW per person per day  $\bar{Y}$ , in the city. Each estimate carried out on each of the six socioeconomic strata had to be weighted according to each stratum’s side proportion and households. Equation (1) shows the general expression used in estimating PCP.

$$\hat{Y} = \sum_{h=1}^6 W_h \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{n_h} \frac{M_{hi}}{m_{hi}} \sum_{j=1}^{m_{hi}} Y_{hij}}{\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}} \right\} \quad (1)$$

## En español

En la ecuación (1),  $W_h$  representa la ponderación debida al estrato  $h$ ;  $M_{hi}$  es el número de viviendas totales del lado  $i$  del estrato  $h$ ;  $m_{hi}$  es el número de viviendas muestreadas del lado  $i$  del estrato  $h$  y  $n_h$  es el número de lados muestreados en el estrato  $h$ . El estimador definido en la ecuación (1) para encontrar la PPC se utilizó para realizar estimaciones con un error absoluto correspondiente al 5% de la PPC promedio y un nivel de confianza global del 95%, que a su vez determinaron el tamaño de muestra.

Ante la falta de información confiable sobre el valor del parámetro de interés en estudios previos, en particular sobre su dispersión, se acudió a una muestra piloto de 58 LDM, distribuidos en los 6 estratos. El tamaño de la muestra piloto se determinó según la disponibilidad de recursos y cubrió todos los estratos, permitiendo afinar la logística del trabajo de campo. Considerando un error del 5% de la PPC promedio global piloto y un nivel de confianza del 95%, se obtuvo un tamaño de muestra final de 214 LDM.

### Desarrollo del Programa de Muestreo y caracterización de los RS

Esta fase incluyó la selección de los LDM a muestrear, el reconocimiento de ellos, la selección de las viviendas, las actividades de sensibilización para lograr la participación de la ciudadanía, y la toma, pesaje y procesamiento de las muestras. A continuación se describen estas actividades.

*Selección de los LDM a muestrear:* la muestra fue seleccionada de manera aleatoria y sistemática.

*Visitas de reconocimiento a LDM:* en estas visitas se identificaron aspectos como la ubicación, el número total de viviendas del LDM, número de viviendas habitadas, tipo de edificaciones o establecimientos presentes, lugares de presentación o unidades de almacenamiento de los RS y facilidades de acceso.

*Selección de viviendas por LDM:* en cada LDM se seleccionó aleatoria y sistemáticamente un número de viviendas proporcional al total del LDM, buscando en todos los casos un mínimo de cinco viviendas. La proporción fue calculada con base en el promedio de viviendas por LDM por estrato socioeconómico; este promedio fue obtenido a partir de las visitas de campo. Con el fin de controlar situaciones de no respuesta, se estableció una holgura de al menos tres viviendas por LDM.

*Presentación del proyecto y sensibilización:* un profesional de las ciencias sociales visitó cada una de las viviendas a muestrear, entregando una carta de presentación del proyecto; esta actividad permitió corroborar la viabilidad de inclusión de cada vivienda seleccionada en el estudio o su reemplazo para mantener la representatividad del LDM.

*Muestra de prueba (MP):* una vez corroborada la disponibilidad de los usuarios a participar, estudiantes universitarios previamente capacitados realizaron una visita para familiarizar a los residentes con la forma de presentación y entrega de las muestras, para lo cual se entregó una bolsa plástica. Ésta fue denominada "muestra de prueba".

*Visitas de seguimiento y recolección de muestras:* en una segunda visita se verificó el uso de la bolsa dejada en la visita anterior y en algunos casos se hicieron ajustes para la primera recolección de la muestra (cambio de vivienda, suministro de bolsas adicionales, definición de hora y lugar de presentación). La muestra de prueba no fue procesada.

## In English

In equation (1),  $W_h$  represented weighting due to strata  $h$ ;  $M_{hi}$  was the number of total households from side  $i$  of strata  $h$ ;  $m_{hi}$  was the number of households sampled from side  $i$  of strata  $h$  and  $n_h$  was the number of sampled sides in stratum  $h$ . The defined estimator in equation (1) for determining PCP was used for estimations having 5% absolute error of average PCP and overall 95% confidence level which, in turn, determined sample size.

A 58-BS pilot sampling campaign had to be mounted in the six socioeconomic strata due to a lack of reliable information about parameters of interest in previous works, in particular about dispersion. The pilot sample size was established according to funds available and included all strata, allowing field work logistics to be improved. A final 214 BS sample size was obtained considering a 5% error for average pilot overall PCP and a 95% confidence level.

### Developing the sampling programme and SW characterisation

This phase included selecting the BS to be sampled, their acknowledgment, household selection, awareness-raising activities for encouraging citizen participation and taking, weighing and sampling/processing data.

*Selecting the BS to be sampled:* the sample was randomly and systematically selected.

*Block side acknowledgement visits:* these visits were used for identifying such aspects as location, total number of households in the BS, number of inhabited houses, type of buildings or establishments, places for SW location or storage and access facilities.

*Selecting households per side:* a number of households proportional to the total side were randomly and systematically selected in each BS, seeking at least five households in all cases. Calculations were based on the average of households per side by socioeconomic stratum; this average was obtained from field visits. A room space of at least three households was established to control no answer situations.

*Project presentation and awareness-raising:* a social science graduate visited each household to be sampled, delivering a project presentation letter. This activity allowed corroborating the viability of including each selected household in the study, or its replacement to maintain BS representativeness.

*Test sample (TS):* once the availability of users to participate had been corroborated, previously-trained undergraduate students made a visit to familiarise residents with how the samples would be collected and delivered; a plastic bag was thus given to them. This sample was called "test sample."

*Follow-up visits and sample collection:* the use of the sample bag given during the first visit was verified during a second visit and, in some cases, adjustments were made to the first sample collection (change of household, supplying additional bags, timing and place of delivery of the sample). The test sample was not processed.

En español

En esta visita se entregaron bolsas para la recolección de la primera muestra a ser procesada. En una tercera visita se recogieron las bolsas de la primera muestra y se entregaron las destinadas para la segunda muestra a ser procesada; en la cuarta y última visita se recogió la segunda muestra. Las muestras fueron recogidas previo al paso del vehículo del servicio de aseo local. Las visitas de seguimiento y de recolección de muestras se hicieron coincidir con los días de recolección establecidos para cada LDM por parte de la empresa prestadora del servicio de aseo, controlando la no entrega de RS a dicha empresa. La Tabla 2 presenta la distribución de los LDM estimados y muestreados por estrato socioeconómico, incluyendo el número de viviendas muestreadas.

Tabla 2. Distribución del tamaño de muestra final por estrato socioeconómico en el área urbana de Santiago de Cali.

Nivel de confianza: 95%; porcentaje de error: 5%

Estrato	Tamaño de muestra final en número de LDM		Número de viviendas muestreadas
	Estimado	Muestreado	
1	43	50	429
2	68	70	598
3	69	74	607
4	14	31	222
5	16	17	126
6	4	16	108
Total	214	258	2,090

Fuente: Creación propia a partir de datos del estudio DAP-Universidad del Valle (2006).

*Procesamiento de las muestras de RS:* una vez recogida la muestra en cada vivienda, se procedió a rotularla y pesarla. Para el manejo de la información obtenida se aplicó un formato de recolección de la muestra donde se consignaron los datos sobre el peso de las bolsas con RS y el número de personas que los produjeron en el periodo respectivo. Posteriormente, las muestras se transportaron a un sitio acondicionado para determinar su composición física. Esta actividad se hizo por LDM, integrando todas las muestras recogidas del mismo LDM; no se llevaron a cabo cuarteos debido a que la cantidad de RS por LDM permitió su procesamiento total. El esquema de clasificación adoptado corresponde al establecido en el RAS 2000, adicionando la categoría de residuos higiénicos, que incluye pañales, papel higiénico, preservativos, servilletas y toallas higiénicas, entre otros.

## Resultados y discusión

La tabla 3 contiene la media y cuasivarianza muestral de las PPC para cada estrato y para el total de la zona urbana de Santiago de Cali. El valor encontrado de la media global para la ciudad (0,39 kg/hab.día) es inferior al reportado como promedio para Colombia por la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2005) y a los reportados para la ciudad por estudios similares efectuados por Emsirva ESP en 1996. De igual manera, la PPC global es inferior al valor mínimo sugerido por el RAS 2000 para prediseños de sistemas de gestión de RS (0,44 kg/hab.día). Esta situación podría ser atribuida a razones como las de que este estudio se centró sólo en residuos residenciales, modificaciones en los patrones de consumo o situación socioeconómica de los habitantes, o a diferencias metodológicas en aspectos relevantes como la determinación del tamaño de la muestra y su selección.

La labor del muestreo piloto, además de facilitar el afinamiento de la metodología del trabajo de campo, permitió la cuantificación

In English

During this visit, bags were delivered for collection of the first sample to be processed. The bag corresponding to the first sample was picked up during a third visit and the bag corresponding to the second sample to be processed was delivered. The second sample was picked up during the fourth and last visit. The samples were collected prior to the local solid waste vehicle passing. Follow-up visits were made and samples collected to coincide with the collection days established for each BS by the local solid waste company, ensuring that the people did not deliver the samples to the company. Table 2 shows the distribution of estimated BS, sampled by socioeconomic strata and includes the number of households sampled.

Table 2. Final sample size distribution by socioeconomic strata in Cali's urban area, 95% confidence level, 5% error.

Strata	Final sample size in number of BS		Number of sampled households
	Estimate	Sampled	
1	43	50	429
2	68	70	598
3	69	74	607
4	14	31	222
5	16	17	126
6	4	16	108
Total	214	258	2,090

Source: own creation from DAP – Universidad del Valle study data (2006)

*SW sample processing:* after collecting the samples from each household, they were identified and weighed. A sample collection form was filled in for the information obtained about SW management; data regarding the weight of the bags containing SW and the number of people who produced the sample during the respective period were recorded. Afterwards, the samples were transported to a suitably conditioned place for determining physical composition. This activity was carried out by BS, integrating all the samples collected in the same BS. There were no divisions by quartiles as the amount of SW per BS allowed total processing. The classification scheme adopted corresponded to that established in RAS 2000, adding to the Hygienic Waste category which includes diapers, sanitary towels, toilet tissue paper, prophylactics, etc.

## Results and Discussion

Table 3 shows the sampling quasi-variance of PCP for each stratum and for the total urban area of Cali. The 0.39 kg/(person-day) overall mean value for the city was lower than the average reported for Colombia by the Pan-American Health Organisation (PAHO, 2005) and that reported for the city in previous studies carried out by EMSIRVA ESP in 1996. Likewise, the overall PCP was lower than the minimum suggested by RAS 2000 for SW predesigned management systems (0.44 kg/(person-day)). This situation may be attributed to the fact that this project only referred to residential waste. However, it may also have been due to some modifications in consumption standards or in people's socioeconomic conditions. Another possibility could have been that the variations found occurred because of methodological differences in relevant technical aspects such as determining sample selection procedure and sample size.

Implementing the pilot sampling, besides facilitating fieldwork methodology refinement, contributed towards quantifying the

## En español

del error absoluto que se asumió para la estimación de la PPC global y la variabilidad aproximada de la PPC en cada estrato, elementos que determinaron el tamaño de muestra final. Esta metodología evita sesgos de selección y además permite establecer un tamaño de muestra con rigurosidad estadística. El tamaño de muestra final equivale al 0,7% del total de LDM de la ciudad, equivalente a un 0,4% de las viviendas, valor significativamente inferior al sugerido por fuentes como Nordtest (1995) o al utilizado en estudios como el reportado por Ojeda-Benítez *et al.* (2003) para Mexicali, lo cual se traduce en la reducción de costos, elemento que, como lo menciona Hristovski (2007), es uno de los mayores limitantes para la realización de este tipo de estudios en países en desarrollo. De otro lado, el muestreo bietápico se adecúa a las condiciones del marco muestral disponible localmente, tal como puede ocurrir en muchos otros lugares y estudios similares. De hecho, en todas las grandes ciudades es posible identificar conglomerados de viviendas (manzanas, barrios, comunas, distritos, sectores, etcétera), lo que permite reducir los costos de muestreo, alcanzando fácilmente la cobertura de la muestra debido al agrupamiento de las unidades de estudio (viviendas, hogares Y demás).

Tabla 3. Medias y cuasivarianzas muestrales de la PPC por estrato socioeconómico para el área urbana de Santiago de Cali

Estrato socioeconómico	Media (kg/(hab.día))	Cuasivarianza
1	0.34	0.03
2	0.36	0.03
3	0.37	0.05
4	0.49	0.10
5	0.60	0.12
6	0.77	0.21
Global	0.39	0.07

Fuente: Creación propia a partir de datos del estudio DAP-Universidad del Valle (2006).

La PPC por estrato socioeconómico presenta un comportamiento similar al reportado para Santiago de Chile por Conama & UCV (2006), en cuanto al aumento de este parámetro a medida que crece el estrato socioeconómico. Al respecto, el valor de la PPC obtenida para el estrato bajo de dicha ciudad (0,67 kg/hab.día), sólo fue superado por el estrato alto de Cali. De igual forma, se aprecia que entre más alto sea el estrato socioeconómico hay mayor dispersión de los datos, observándose valores más similares entre los estratos 1, 2 y 3, lo cual puede indicar una mayor homogeneidad en los patrones de comportamiento de estas poblaciones.

La tabla 4 presenta la distribución porcentual de la composición física de los RS residenciales por estrato socioeconómico y la global para la ciudad. Tal como lo reportan el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) y Calrecovery (2005), para los países en desarrollo, como en el caso de Santiago de Cali, predominan los residuos de naturaleza orgánica. En todos los estratos las mayores proporciones corresponden a los residuos de comida, y aunque el estudio no contempló la diferenciación de esta categoría entre residuos de alimentos crudos y de alimentos procesados, en todos los eventos se observaron cantidades significativas de estos últimos (alimentos procesados), ameritando la realización de campañas de sensibilización para reducir el desperdicio. La diferenciación de esta categoría de RS es importante, porque como lo indican Marmolejo *et al.* (2009), su composición es un elemento condicionante para la aplicación de tecnologías como el compostaje, que es la de mayor uso en sistemas de aprovechamiento

## In English

absolute error assumed for overall PCP estimation, as well as in-stratum approximated variability. This data was used for computing final sample size. This procedure helped to avoid selection bias and also allowed getting a statistically rigorous determination of the final sample size. The selected sample size represented 0.7% of the city's total BS, equivalent to 0.4% of households, this being a significantly lesser number compared to that suggested by Nordtest (1995) or that used by Ojeda-Benitez for Mexicali (Ojeda-Benitez *et al.*, 2003). The main implication was a dramatic cost reduction, this being one of the main drawbacks in executing this type of project in developing countries, as pointed out by Hristovski (2007). Furthermore, two-stage sampling is appropriate for locally-available sampling frames, as may be the case in many other places and similar studies. In fact, house agglomerations can be identified in all large cities (blocks, suburbs, communes, districts, sectors, etc.), which would help to reduce sampling costs by easily ensuring sampling coverage. This happens because of the study units' grouping (houses, homes, etc.).

Table 3. Means and quasi-variances for PCP by socioeconomic stratum for the urban area of Cali

Socioeconomic strata	Mean kg/(person-day)	Quasi-variance
1	0.34	0.03
2	0.36	0.03
3	0.37	0.05
4	0.49	0.10
5	0.60	0.12
6	0.77	0.21
Overall	0.39	0.07

Source: own creation from DAP – Universidad del Valle study data (2006)

PCP by socioeconomic strata presented a similar pattern to that reported for Santiago de Chile by CONAMA and UCV (2006) regarding increases for this parameter as socioeconomic stratum grew. The PCP value obtained for the lowest stratum in that city (0.67 kg/(person-day)) was only exceeded by Cali's highest strata. It was also seen that the higher the stratum, the higher the data dispersion. In fact, for the lowest stratum there did not seem to be a significant difference in data variability, which may have indicated some type of homogeneity in these populations' behaviour patterns.

Table 4 shows the relative distribution of residential SW physical composition, organised by socioeconomic strata. It also shows the overall composition for the whole city. As reported by UNEP & Calrecovery Inc. (2005) for developing countries, organic waste predominated in SW composition in Cali. Food waste predominated in all socioeconomic strata and, although the study did not contemplate differentiation of this category into raw and processed food waste, significant amounts of the latter were observed in all cases, thereby justifying waste reduction awareness-raising campaigns. The differentiation of processed food SW category is important because, as pointed out by Marmolejo (Marmolejo *et al.*, 2009), its composition is a conditioning factor for some technologies' application such as compost, which is the main application

En español

de RS municipales en Colombia (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, SSPD, 2008).

Tabla 4. Composición física de los RS residenciales (porcentaje en peso) por estrato socioeconómico en la zona urbana de Santiago de Cali

Categoría	Estrato socioeconómico						Global
	1	2	3	4	5	6	
Comida	61.30	61.90	61.03	54.36	54.48	48.37	59.00
Jardín	4.31	2.26	3.09	8.64	16.14	24.06	6.54
Papel	2.75	3.13	3.85	5.31	4.34	6.26	3.84
Cartón	1.87	2.25	2.47	2.81	3.14	2.75	2.39
Plástico	9.58	10.22	11.11	11.19	10.01	7.46	10.14
Caucho y Cuero	1.56	1.38	0.87	0.26	0.17	0.23	0.98
Textiles	2.82	2.28	1.88	1.07	2.04	0.50	1.98
Madera	0.68	0.93	0.48	0.75	0.14	0.23	0.62
Metálicos	0.94	1.00	1.12	1.47	0.95	0.93	1.06
Vidrio	2.19	2.02	2.63	3.35	3.62	3.15	2.56
Cerámicos	0.99	2.18	1.12	1.58	0.78	0.43	1.34
Huesos	0.32	0.31	0.33	0.33	0.21	0.21	0.30
Higiénicos	8.30	8.91	8.19	7.80	3.24	4.79	7.73
Otros	2.38	1.24	1.83	1.09	0.73	0.62	1.52

También se destaca que la categoría de residuos higiénicos, aunque no está incluida en el esquema de clasificación propuesto por el RAS 2000, constituyó la tercera en proporción de residuos generados y en todos los estratos representa un porcentaje superior al 3% de ellos; en el caso de Santiago de Chile, el estudio realizado por Conama y la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso - UCV (2006) muestra que los pañales y celulosas sanitarias corresponden al 4,95% del total. Dadas las cantidades y características de estos residuos es conveniente estudiar la aplicación de opciones que reduzcan su generación, como lo es el caso del uso de pañales reusables, sobre los cuales se reportan experiencias en Austria y el Reino Unido (Salhofer et al., 2008). Además, teniendo en cuenta los impactos que puede tener la mezcla de los higiénicos con otros residuos sobre las opciones de aprovechamiento, tratamiento o disposición final, es conveniente estimular la separación en la fuente. Así mismo, es recomendable que esta categoría sea incluida en el esquema de clasificación nacional.

Materiales potencialmente aprovechables como papel, cartón, plástico, vidrio y metal, constituyen el 19,99% del total de residuos generados. Asumiendo que la población de la ciudad reportada en el censo nacional de 2005 (2.075.380 habitantes), generara en su conjunto la PPC estimada (0,39 kg/hab.día), la generación total de residuos residenciales sería de 809,4 ton/día, de las cuales 161,1 ton/día corresponderían a los materiales citados, cantidad significativa con potencial para ser reincorporada al sector productivo. Al respecto, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT (2007), señala que en Colombia estos materiales cuentan con un mercado establecido y con posibilidades de expansión.

In English

for municipal SW recovery in Colombia (SSPD, 2008).

Table 4 Physical composition of residential SW (percentage by weight) by socioeconomic strata in Cali's urban area

Category	Socioeconomic strata						Overall
	1	2	3	4	5	6	
Food	61.30	61.90	61.03	54.36	54.48	48.37	59.00
Garden	4.31	2.26	3.09	8.64	16.14	24.06	6.54
Paper	2.75	3.13	3.85	5.31	4.34	6.26	3.84
Board	1.87	2.25	2.47	2.81	3.14	2.75	2.39
Plastic	9.58	10.22	11.11	11.19	10.01	7.46	10.14
Rubber and leather	1.56	1.38	0.87	0.26	0.17	0.23	0.98
Textile	2.82	2.28	1.88	1.07	2.04	0.50	1.98
Wood	0.68	0.93	0.48	0.75	0.14	0.23	0.62
Metal	0.94	1.00	1.12	1.47	0.95	0.93	1.06
Glass	2.19	2.02	2.63	3.35	3.62	3.15	2.56
Ceramic	0.99	2.18	1.12	1.58	0.78	0.43	1.34
Bones	0.32	0.31	0.33	0.33	0.21	0.21	0.30
Hygienic	8.30	8.91	8.19	7.80	3.24	4.79	7.73
Other	2.38	1.24	1.83	1.09	0.73	0.62	1.52

Just as important is the hygienic waste category which makes up the third relative category in generated SW (although not currently included in the classification scheme proposed by RAS 2000); it represented more than 3% in each socioeconomic strata. The study carried out by CONAMA & UCV (2006) in Santiago de Chile showed that diapers and sanitary cellulose accounted for 4.95% of the total. Given the amounts and characteristics of this type of waste, optional applications for reducing SW generation should be studied, as is the case of reusable diapers as experienced in Austria and the United Kingdom (Salhofer et al., 2008). Furthermore, bearing in mind the impact of hygienic waste on other wastes regarding recovery options, treatment and final disposal, separation at source should be stimulated. Likewise, it is recommended that this category should be included in the national classification scheme.

Potentially usable material like paper, board, plastic, glass and metal makes up 19.99% of total generated waste. Assuming that the city population's (estimated to be 2,075,380 people, according to the 2005 Colombian census) would generate the estimated PCP (0.39 kg/(person-day)), the total generation of residential waste would reach 809.4 metric tons per day. It means that 161.1 metric tons per day would correspond to said materials, representing a potentially significant amount to be used by the production sector. In this respect, the Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT (2007) has pointed out that these materials have an established market in Colombia, having expansion possibilities.

## En español

Los residuos de jardín representan proporciones significativas de los residuos generados en los estratos 5 y 6, lo cual se asocia a la existencia de zonas verdes y jardines en las viviendas. Es necesario caracterizar químicamente estos residuos, y con base en sus resultados verificar su uso potencial en opciones de aprovechamiento como el compostaje.

### Conclusiones y recomendaciones

La estimación global de producción per cápita de RS residenciales en Santiago de Cali (0,39 kg/hab.día) es inferior a la reportada para Colombia y otros países latinoamericanos.

La presencia de cantidades significativas de alimentos procesados en los RS plantea la necesidad de diseñar y desarrollar medidas que estimulen la reducción en la fuente.

Los residuos higiénicos constituyeron la tercera categoría de residuos generados a nivel residencial en la ciudad. Es conveniente profundizar en opciones para reducir su producción y garantizar su manejo y disposición adecuados desde la fuente.

Se propone la inclusión de una nueva categoría denominada residuos higiénicos en el esquema de clasificación nacional RAS 2000, dada la generación significativa de esos residuos encontrada en este trabajo. La incorporación de la MP, además de familiarizar a los residentes con la forma de presentación y entrega de las muestras, permitió la recolección de materiales acumulados en los domicilios durante largos períodos; de no haberse tomado esta muestra es posible que el sobrepeso de estos materiales hubiera introducido un error en las estimaciones debido al sesgo de medición.

El marco muestral disponible hizo necesaria la utilización del muestreo bietápico estratificado para estimadores de razón. Marcos muestrales similares posiblemente estén disponibles en otras ciudades, dado su uso administrativo y fiscal, lo que garantiza la calidad de la información sobre viviendas y permite visualizar esta estrategia de muestreo como potencialmente generalizable.

En este caso el muestreo bietápico estratificado para estimadores de razón fue utilizado por ser el más adecuado al marco muestral disponible, permitiendo la selección de las viviendas sin sesgos al estar actualizado con respecto a la existencia de los LDM, los que a su vez contienen las viviendas.

### Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Santiago de Cali y a la Universidad del Valle, instituciones que financiaron el proyecto de investigación. También agradecen a los profesionales y estudiantes de la Universidad del Valle y a los líderes comunitarios, recicladores y funcionarios municipales que participaron en las jornadas de muestreo y caracterización. Especial reconocimiento merecen quienes realizaron el arbitraje científico de este artículo.

### Bibliografía / References

CONAMA RM (Comisión Nacional del Medio Ambiente Región Metropolitana), UCV (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso), Estudio caracterización de residuos sólidos en la región metropolitana., 2006.

## In English

Garden waste represented significant proportions of generated waste in strata 5 and 6 which was associated with the existence of residential green areas and gardens. This waste should be chemically characterised and its potential use in recovery options such as compost should be verified based on the analysis presented here.

### Conclusions and recommendations

The overall estimate of residential SW PCP in Cali (0.39 kg/(person-day)) was less than that reported for Colombia and other Latin-American countries.

The occurrence of significant amounts of processed food in the SW suggested the need for designing and developing new action for stimulating reduction of SW at source.

Hygienic waste constitutes the third category of residentially-generated SW. Options aimed at reducing its production should thus be gone into in depth to guarantee adequate handling and disposal at source. Likewise, this category should be included in the national classification scheme.

Including the "testing sample", besides familiarising residents with how the samples should have been prepared and delivered, allowed materials accumulated in residences over long periods of time to be collected. In the absence of such testing sample, such material overweight may have introduced an error into the estimates, due to measuring bias. Although characterisation techniques have some degree of universality, this project showed the convenience of local characterisation based on locally-available sampling frames. It should lead to the proper choice of sampling methods and sampling sizes.

The available sampling frame for this project made it necessary to use a weighted two-stage sampling plan, designed for ratio estimators. Similar sampling frames may very likely be found in other cities given the administrative and fiscal use for these types of frames. It guarantees the quality of the information regarding houses and allows one to visualise the sampling strategy used for potential generalisations being made.

The sampling plan used here was chosen for being the one that best fit the local sampling plan at hand, allowing houses to be selected without bias. The reason for this was that the BS on the local sampling frame were permanently updated and the BS were made up of houses.

### Acknowledgments

The authors wish to express their appreciation to the Departamento Administrativo de Planeación de Cali and the Universidad del Valle, these being institutions which financed this research project. They would also like to thank the many Universidad del Valle graduates and students, community leaders, recyclers and municipality officers who participated in the sampling and characterisation journeys. Special recognition should go to the referees whose comments have greatly improved the manuscript.

Congreso de Colombia, Law 142/11 July 1994 (establishing the domiciliary public services regime and other dispositions).  
DAP (Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Cali), Universidad del Valle., Diagnóstico de la composición y



- caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en el municipio de Santiago de Cali., Informe final, 2006, pp. 76.
- Diaz, L. F., Eggerth, G.M., Golueke C.G., The role of composting in the management of solid wastes in Economically Developing Countries. In: *Appropriate Environmental and solid waste management and technologies for Developing Countries.*, en ISWA 2002 Conference, Vol. 2, pp 1353- 1362.
- EMSIRVA (Empresa de Servicios Varios Municipales de Cali), Caracterización de los residuos sólidos residenciales de la ciudad de Cali., 1996, pp. 103.
- Hrivstosky, K., Olson, L., Hild, N., Peterson, D., Burge, S., The municipal solid waste system and solid waste characterisation at the municipality of Veles, Macedonia., *Waste Management*, Vol. 27, 2007, pp. 1680-1689.
- Klinger, R.A., Olaya, J., Marmolejo, L., Madera, C., Plan de muestreo para la cuantificación de residuos sólidos residenciales generados en las zonas urbanas de ciudades de tamaño intermedio., *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, No. 48, Jun., 2009, pp. 76-86.
- Marmolejo, L.F., Torres, P., Oviedo, E.R., Bedoya, D.F., Amezquita, C., Klinger, R., Albán, F.; Diaz, L.F., Flujo de residuos. Elemento base para la sostenibilidad del aprovechamiento de residuos sólidos municipales., *Ingeniería y Competitividad*, Vol. 11, No. 2, Dic. 2009, pp. 79-93.
- Minambiente (Ministerio del Medio Ambiente República de Colombia)., *Política para la Gestión Integral de Residuos.*, 1998, pp. 47.
- Minambiente (Ministerio del Medio Ambiente República de Colombia)., *Guía para selección de tecnologías de manejo integral de residuos sólidos.*, 2002, pp. 183.
- Mindesarrollo (Ministerio de Desarrollo Económico República de Colombia)., *Reglamento Técnico del sector agua potable y saneamiento básico RAS 2000.*, Sección II., Título F., *Sistemas de aseo urbano.*, Bogotá D.C., 2000.
- MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). (2007)., *Gobierno crea Mesa Nacional de Reciclaje.*, Noticias Mayo 02 de 2007., Available in: <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=433&conID=761>
- Nordtest, Solid waste, municipal: Sampling and characterisation Nordtest method NT ENVIR 001, Finland., Available in: <http://www.nordicinnovation.net/nordtestfiler/envir001.pdf>
- Ojeda-Benitez, S, Armijo de Vega, C, Ramirez-Barreto, M.E., Characterisation and quantification of household solid wastes in a Mexican city, *Resources, Conservation & Recycling.*, Vol. 39, 2003, pp. 211-222.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud)., *Informe de la Evaluación Regional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos en América Latina y el Caribe.*, Washington. D.C., 2005, pp. 128.
- Salhofer S., Obersteiner G., Felicitas S., Lebersorger S., Potentials for the prevention of municipal solid waste., *Waste Management*, 2008, Vol. 28, pp. 245- 249.
- SSPD (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios), *Diagnóstico sectorial plantas de aprovechamiento de residuos sólidos.*, República de Colombia, 2008.
- UNEP (United Nations Environment Programme), CalRecovery Incorporated., *Solid Waste Management.*, United Nations Environment Programme., 2005, pp. 524.