

ASOCIACIONES ENTRE LA COMPOSICIÓN SOCIOECONÓMICA FAMILIAR Y LA GENERACIÓN URBANA DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS

✉ JAVIER OLAYA*
KATHERINE IPPOLITO**
GEYNI MORENO***
VÍCTOR GONZÁLEZ****
RAFAEL KLINGER*****
CARLOS MADERA PARRA*****
LUIS MARMOLEJO*****

RESUMEN

Este estudio tiene como propósito analizar el comportamiento de la generación de residuos sólidos domiciliarios por lados de manzana y por comunas, utilizando como ilustración datos de la ciudad de Cali, Colombia; se caracterizan estos lados de manzana y comunas con variables socioeconómicas de una muestra familias encuestadas, que determinan los perfiles de los generadores de residuos sólidos. Se hace uso del Análisis de Componentes Principales, como herramienta estadística multivariada para estudiar posibles asociaciones entre la composición socioeconómica de las familias y la generación de residuos sólidos. Los resultados obtenidos revelan altos grados de asociación entre niveles educativos y edades y mostraron que la generación y composición de residuos sólidos domiciliarios varían también según el estrato socioeconómico.

PALABRAS CLAVES: análisis de componentes principales; variables ilustrativas; individuos suplementarios; biplot; residuos sólidos; composición socioeconómica

ASSOCIATIONS BETWEEN FAMILIAL SOCIOECONOMIC COMPOSITION AND URBAN RESIDENTIAL SOLID WASTE GENERATION

ABSTRACT

This study aims to analyze the behavior of solid waste generation by block sides and communes, using as an illustration data coming from the city of Cali, Colombia. Block sides and communes are characterized based on

* Estadístico, Universidad del Valle. Ph. D. Clemson University. Profesor Titular, Escuela de Estadística, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

** Estadística, Universidad del Valle. Analista de investigación de gestión social Comfandi. Cali, Colombia.

*** Estadística, Universidad del Valle. Auxiliar de Estadística de Salud - Comfandi. Cali, Colombia.

**** Estadístico, Universidad del Valle. MS(c), Universidad Nacional de Colombia. Profesor Asistente, Escuela de Estadística, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

***** Estadístico, Universidad del Valle. Profesor Titular, Escuela de Estadística, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

***** Ingeniero sanitario, Universidad del Valle. MS (c) Universidad del Valle. Profesor Asistente Universidad del Valle. Cali, Colombia.

***** Ingeniero sanitario, PhD. Ing. Énfasis Ing. Sanitaria y Ambiental. Profesor Asistente Universidad del Valle.

✉ *Autor de correspondencia:* (J. Olaya). Calle 13 N.º 100-00, Edificio 357, Cali, Colombia. Teléfono: 333 49 03. Correo electrónico: javier.olaya@correounivalle.edu.co

Historia del artículo:
Artículo recibido: 07-XII-2012 / Aprobado: 11-IX-2013
Discusión abierta hasta diciembre de 2014

socioeconomic measurements collected from a set of randomly sampled families, which helped us to build up the profiles of solid waste generators. We use Principal Component Analysis as a statistical multivariate tool to study possible associations between the socioeconomic composition of families and solid waste generation. Results show high levels of association among educational levels and age, and also that solid waste generation and composition vary from one economic stratum to another.

KEYWORDS: Principal Components Analysis; Illustrative Variables; Supplementary Individuals; Biplot; Solid Waste; Socioeconomic Composition.

ASOCIACOES ENTRE A COMPOSICAO SOCIOECONÔMICA FAMILIAR E A GENERACAO URBANA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

SUMÁRIO

A finalidade deste estudo é de analisar o comportamento da geração de resíduos sólidos domiciliares por lados de quarteirão e bairros, utilizando como ilustração dados da cidade de Cali, Colômbia; se caracteriza, estes lados de quarteirão e bairros com variáveis socioeconômicas duma amostra famílias encostadas, que determinam os perfis dos geradores de resíduos sólidos. Usamos o Análise de Componentes Principais como ferramenta estatística multivariada para estudar associações possíveis entre a composição socioeconômica das famílias e a geração de resíduos sólidos. Os resultados obtidos revelam altos níveis de associação entre níveis educativos e idades e mostraram que a geração e composição de resíduos sólidos domiciliares variam também de acordo ao nível socioeconômico.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de componentes principais; Variáveis ilustrativas; Indivíduos suplementares; Biplot; Resíduos sólidos; Composição socioeconômica.

INTRODUCCIÓN

La asociación entre la composición socioeconómica de las familias y la generación de residuos sólidos en las zonas urbanas de las ciudades ha sido analizada por varios autores. Poswa (2004) y Marmolejo, *et al.* (2010) exploran el papel del género en la generación de residuos sólidos, sugiriendo que en los países en desarrollo, el papel de la mujer en las labores domésticas incide en las características de los residuos sólidos generados en el hogar. Hasan (2008) estudia aspectos socioeconómicos de la recuperación y reciclaje de residuos sólidos en Bangladesh, concentrándose principalmente en el papel de los recicladores, estimando que cerca del 2 % de los habitantes de la ciudad viven de esta tarea, concluyendo que los sistemas de recolección deberían considerar este hecho en su diseño, más aún considerando que esta población posiblemente esté concentrada en algunos sectores geográficos bien determinados de la ciudad. Cai, *et al.* (2008) proponen una estrategia de manejo integral de los residuos sólidos

basada en una red de participación comunitaria, en la cual la composición familiar tiene un papel decisivo. Ojeda, *et al.* (2008) utilizan como unidad de análisis el perfil socioeconómico familiar para producir estimaciones diferenciadas de la generación de residuos sólidos domiciliares entre familias nucleares, extendidas y de un solo padre.

Afroz, *et al.* (2010) estudian el papel de los factores socioeconómicos en la generación de residuos sólidos domiciliares usando información de la ciudad de Dacca (Bangladesh) y concluyen que la generación está significativamente afectada por el tamaño de la vivienda, el ingreso, las preocupaciones de los residentes por el ambiente y sus expectativas de reciclaje. Orccosupa (2001) analiza la relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores económicos en la provincia de Santiago de Chile, concluyendo que la generación per cápita está fuertemente asociada con el ingreso económico y consecuentemente con el consumo de electricidad del usuario y que además depende significativamente de la estación del año,



los días de la semana y la educación no formal de los miembros del hogar.

Por otra parte, Klinger, *et al.*, (2009) propusieron un plan de muestreo bietápico para cuantificar y caracterizar la generación de residuos sólidos domiciliarios en ciudades de tamaño intermedio, concluyendo, al igual que otros autores (Davis, 2009) que la generación de residuos sólidos por parte de un individuo depende de las condiciones socioeconómicas del usuario.

En los estudios disponibles, en general, la idea de composición socioeconómica de la familia se apoya en la observación de una sola variable. Este artículo explora las asociaciones de tipo multivariado entre las características socioeconómicas de familias y la cantidad y tipo de residuos sólidos que estas generan, en el marco del proyecto de muestreo y caracterización de los residuos sólidos municipales de origen residencial realizado en la ciudad de Santiago de Cali-Colombia, en 2006.

METODOLOGÍA E INFORMACIÓN EMPLEADA

En este trabajo se utiliza información primaria obtenida mediante la aplicación de una encuesta en las viviendas seleccionadas de acuerdo con el uso del protocolo de toma de información y metodología muestral descrita por Klinger, *et al.* (2009) y Klinger (2011), cruzándose esta información con la generación de residuos sólidos de las mismas.

Los insumos para la búsqueda de las asociaciones entre la composición socioeconómica de las familias analizadas y la generación de sus respectivos residuos domiciliarios quedan de esta forma constituidos por dos poblaciones estadísticas a saber: de una parte, los datos correspondientes a los residuos generados en lo que corresponde a la cantidad (kg), y su caracterización por lados de manzana siguiendo las categorías de clasificación establecidas por la norma técnica colombiana (Mindesarrollo, 2000), incluyendo la categoría de higiénicos. Por otro lado, la segunda población estadística conformada por la información resultante por vivienda obtenida mediante el diligenciamiento de una encuesta realizada al jefe del hogar.

La encuesta diligenciada presenta tres partes fundamentales que a su vez, permiten clasificar las diferentes variables observadas en las familias

encuestadas siendo la primera parte lo correspondiente a *ubicación y caracterización de la vivienda*, conteniendo la siguiente información: dirección, comuna a la que pertenece, barrio, estrato socioeconómico y tipo de servicios públicos con que sus habitantes cuentan en ella, así como el número de familias que la habitan. La segunda parte llamada *caracterización del núcleo familiar*, permite recabar información sobre el número de personas que conforman el núcleo familiar por rangos de edad, el nivel educativo del encuestado, el número de personas en la familia por nivel educativo, el número de personas que trabajan y si al interior de la vivienda se ejerce alguna actividad económica familiar, definiendo esta, si ello aplica. Finalmente la tercera parte de la encuesta denominada comportamiento frente al manejo de los residuos sólidos, permite conocer si la vivienda cuenta con un servicio de recolección de los residuos sólidos generados, frecuencia y el tipo de empresa que la realiza, día y hora en que presentan los residuos sólidos generados en la vivienda; tipo de recipiente para almacenar los residuos sólidos; conocimiento sobre reciclaje y si efectivamente este se realiza, el uso que se da al material reciclado y su clasificación si ello aplica.

Toda la información descrita y empleada en este trabajo proviene de una muestra de 2.090 encuesta aplicadas en viviendas distribuidas en 6 estratos socioeconómicos del área urbana de Santiago de Cali, constituyendo de esta manera la base para la búsqueda de las asociaciones de tipo multivariado entre las características socioeconómicas de las familias y la cantidad y tipo de residuos sólidos de las mismas, usando para la realización de cálculos y gráficos, el software R (R Core Team, 2012) como apoyo para el procesamiento estadístico.

DATOS DISPONIBLES

La información disponible proviene del estudio DAPM-Univalle (2006) en el cual se ejecutó un plan de muestreo probabilístico estratificado por conglomerados bietápico con estimadores de razón (Klinger, *et al.*, 2009). La recolección de los datos inició con una visita de reconocimiento a los lados de manzana seleccionados en el muestreo, en la que se adelantó un proceso de sensibilización de los residentes de las viviendas seleccionada incluyendo el suministro de una primera

bolsa destinada a la recolección, con el propósito de familiarizar a las personas con la dinámica del proyecto. Esta etapa incluía la aplicación de una encuesta para obtener información de la vivienda.

Culminada esta primera etapa se realizaba una visita de seguimiento para saber si las personas habían utilizado correctamente la bolsa entregada en la primera visita. Los residuos sólidos recolectados en esta primera bolsa no fueron incluidos en el estudio para evitar el sesgo de muestreo debido a que los residentes podrían intentar deshacerse de materiales almacenados por algún tiempo en esta primera recolección. Una vez verificada la participación de las personas en el estudio en curso, se les entregaba una segunda bolsa para así obtener la primera muestra de residuos sólidos a ser analizada. En una tercera visita se realizaba la recolección de la primera muestra y se le suministraba la tercera bolsa destinada a la recolección de la segunda muestra, que se recogía en la visita final. En cada una de las recolecciones se pesaban los residuos sólidos depositados en las bolsas, obteniendo un peso que estaba asociado al número de días y al número de residentes de la vivienda muestreada. En total se recolectaron residuos sólidos de 2.090 viviendas correspondientes a 258 lados de manzana (Klinger, 2009).

Para la determinación de la composición física se integraron los residuos sólidos de todas las bolsas correspondientes al mismo lado de manzana, por lo que se dispone de datos de caracterización de 258 lados. La base de datos inicial quedó conformada por 69 variables obtenidas del formulario de la encuesta aplicado en cada una de las viviendas de los lados seleccionados.

Se dispuso entonces de dos bases de datos. La primera contenía la información de las encuestas realizadas a las viviendas y en la segunda se tiene la caracterización socioeconómica por lados de manzana, por lo que para integrarlas se agruparon las viviendas de la primera base de datos con el fin de consolidar la información de las viviendas que estaban ubicadas en el mismo lado de manzana, totalizando las variables correspondientes a los grupos de edad de las personas, sus niveles educativos, número de personas laborando, entre otras, obteniendo como resultado el total de personas por cada variable en cada lado de manzana.

Sin embargo, como cada vivienda no tiene el mismo número de habitantes, esta agrupación por variables se dividió por el total de personas correspondientes al lado de manzana en común, logrando así estandarizar la información por lado de manzana. Para este modelo la información correspondiente a la caracterización de los residuos, no se le realizó ninguna modificación, ya que estos se encontraban pesados por lados de manzana. Finalmente, la base de datos que se discute en este trabajo quedó conformada por las respuestas asociadas a 258 lados de manzana, los cuales se agruparán posteriormente por comunas. Las comunas son una forma de organización territorial común en las ciudades colombianas y aunque en algunas comunas es posible encontrar viviendas de todos los estratos socioeconómicos, en la mayoría hay estratos socioeconómicos predominantes. En el caso de la ciudad de Cali, la división actual de 22 comunas y las viviendas se agrupan en 6 estratos socioeconómicos, asignando el número 1 a las viviendas donde residen las familias de más bajos ingresos y el número 6 a las de mayores ingresos.

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

Para efectos del análisis de la información disponible se acudirá al análisis de componentes principales (ACP), una técnica estadística multivariada de síntesis de la información, que se logra a través de una reducción de la dimensión (número de variables) en la cual se conduce el análisis (Díaz, 2008; Lebart, *et al.*, 1984; Vicente, 2006a). El ACP es un método teóricamente apropiado para el análisis de datos que se derivan de una distribución multivariada, transformando un conjunto de variables originales correlacionadas en un nuevo conjunto más pequeño de variables incorrelacionadas llamadas componentes principales, las cuales se definen como combinaciones lineales de las variables originales.

Para entender por qué el ACP se puede utilizar como una técnica de reducción de datos, es útil considerar geoméricamente las filas y las columnas de la matriz de correlaciones R como puntos en un espacio de p (número de variables) o n (número de individuos) dimensiones. De esta manera, las n filas son tratadas como n puntos en un espacio real de dimensión p (R^p)



y las p columnas son tratadas como p puntos en un espacio real de dimensión n (R^n).

Se define la varianza total de la nube de puntos como la suma de los elementos de la diagonal principal de la matriz de correlaciones (traza de la matriz), entonces la primera componente principal se elegirá como aquella combinación lineal de las variables originales cuya varianza represente la proporción más alta de la varianza total. Las demás componentes principales se eligen en orden decreciente del tamaño de su varianza con respecto a la varianza total. Es posible demostrar que la suma de las varianzas de las componentes principales es igual a la traza de la matriz de correlaciones (Lebart, *et al.*, 1984), por lo que la varianza de cada componente principal representará un porcentaje de la varianza total.

No existe un criterio específico para decidir cuántas componentes principales se deben conservar en el análisis, es decir, hasta dónde es posible reducir la dimensión. Sin embargo, algunos criterios ayudan a la tomar la decisión acerca de cuántos componentes principales retener. Lebart, *et al.* (1984) sugiere conservar las componentes principales que expliquen por lo menos el 70 % de la varianza total. Otro criterio común es considerar la contribución de una componente en la explicación de la variación de una variable determinada (contribución relativa o calidad de representación). La calidad de la representación del punto i sobre el eje factorial es una medida relativa que puede expresarse como la parte de la información de un elemento recogida por las componentes principales (comúnmente llamados ejes factoriales), la cual se define como el coseno al cuadrado del ángulo que forma el vector que representa al elemento y el eje, que se puede interpretar como indicación del grado de asociación entre la variable y el eje.

La determinación de la calidad de la representación para cada individuo o cada variable es útil ya que el hecho de que se obtenga una bondad de ajuste elevada para el conjunto de todos los puntos, no implica que la bondad de ajuste sea buena para todos y cada uno de los mismos. Es decir, un individuo o una variable pueden no estar bien representados en un eje factorial, aún si el eje tiene una alta capacidad explicativa de la varianza total.

Se acudirá además a la introducción de individuos suplementarios, porque es posible que se disponga de datos sobre las p variables para un número de individuos

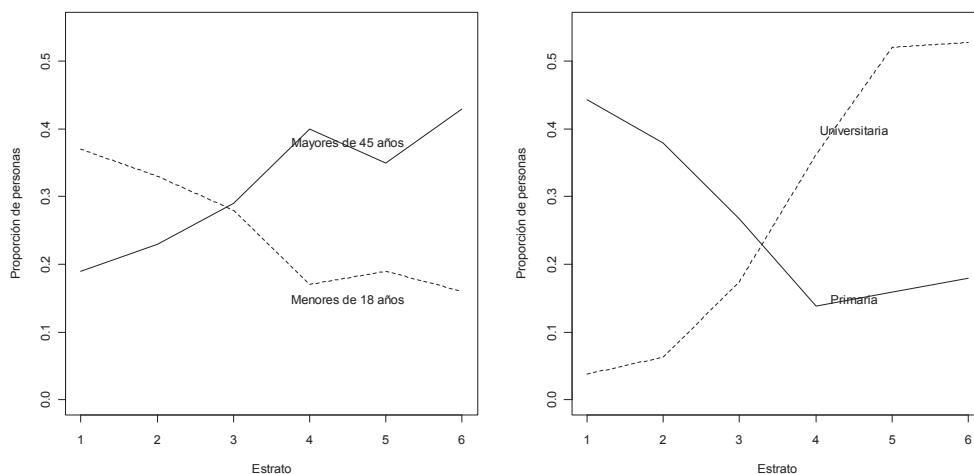
adicionales, no considerados en el ACP, quienes se acomodan como un grupo de control, y que por lo tanto no pueden ser considerados como individuos en la muestra. Estos individuos suplementarios bien pueden ser nuevos individuos a los que se les observan todas las variables consideradas en el ACP, o individuos del estudio original que se reservan por alguna razón para ser incluidos con posterioridad. También es posible tener algunos datos sobre todos los n individuos que podrían ser adicionados a las p variables que están siendo analizadas. A estas variables se acostumbra llamarlas variables ilustrativas.

Para la representación gráfica se acudirá a un gráfico que permite representar tanto a individuos como a variables simultáneamente, llamado *biplot* (Vicente, 2006b). El biplot aproxima la distribución de una muestra multivariante en un espacio de dimensión reducida, normalmente de dimensión dos, y superpone las variables sobre las mismas representaciones. Las representaciones de las variables son normalmente vectores y coinciden con las direcciones en las que mejor se muestra el cambio individual de cada variable.

RESULTADOS

Una primera mirada a los datos permite ver las desigualdades sociales y económicas en Cali, una ciudad de cerca de dos millones de habitantes. La distribución por estratos socioeconómicos en la muestra seleccionada indica que tres cuartas partes de la población residen en los estratos de menores ingresos (1 a 3), en los que además vive la población más joven, tal como se ilustra en la **Figura 1**, lado izquierdo, en la que se observa como la población de mayor edad es baja en los estratos bajos y alta en los estratos altos. Entre tanto, por el contrario, la población de jóvenes es mayor en los estratos bajos y menor en los altos. Además, en la **Figura 1**, lado derecho, se hace notoria la diferencia en los niveles de formación declarados por los habitantes, altos en los estratos altos y muy bajos en los estratos bajos. Es decir, los residentes de más bajos ingresos, en su mayoría muy jóvenes, son los de menor formación académica, lo que puede estar asociado a las menores oportunidades de acceso a la educación superior, con las previsible implicaciones de exclusión social. Este marco, es común a muchas ciudades de países en vías de desarrollo.

Figura 1. Distribución de las edades y los niveles MÁS ALTOS de formación de los residentes, por estratos socioeconómicos en Cali



Para la primera etapa del análisis multivariado se agregaron seis variables suplementarias, una para representar cada uno de los seis estratos socioeconómicos

de Cali. La **Tabla 1** muestra la definición de variables, implicando que el primer análisis se ejecutará con 22 variables y 258 lados.

Tabla 1. Definición de variables para el primer análisis multivariado

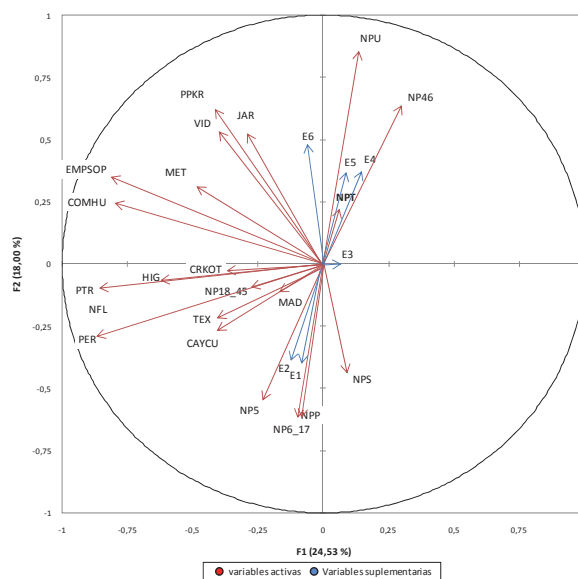
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN
NFL	# de familias por lado	Es la cantidad de familias dentro de la vivienda encuestada por lado de manzana.
PER	# de Personas por lado	Total de personas por lado de manzana.
NP5	% Personas menores a 5 años	Es el porcentaje de personas con los rangos de edades establecidos por lado de manzana.
NP6_17	% Personas entre 6 y 17 años	
NP18_45	% Personas entre 18 y 45 años	
NP46	% Personas mayores a 46 años	
NPU	% Personas universitarias	
NPT	% Personas técnicas	Es el porcentaje de personas con los diferentes niveles educativos ya sea: universitario, técnico, secundario y primario, por lado de manzana.
NPS	% Personas secundaria	
NPP	% Personas primaria	
PTR	# Personas que trabajan	
COMHU	Kg de residuos de comida y huesos	Es la cantidad en kilogramos de producción de cada tipo de residuo sólido en cada uno de los lados de manzana, que resultó de la caracterización realizada en el proyecto PGIRS. Conformado por: residuo de comida, huesos, residuo de jardín, productos de papel y cartón, plástico (bolsas y empaques), plástico soplado, caucho y cuero, textiles, madera, productos metálicos, vidrios, residuos higiénicos, productos cerámicos y otros.
JAR	Kg de residuos de jardín	
PPKR	Kg de residuos de papel y cartón	
EMPSOP	Kg de residuos bolsas y empaques	
CAYCU	Kg de residuos caucho y cuero	
TEX	Kg de residuos textiles	
MAD	Kg de residuos madera	
MET	Kg de residuos metálicos	
VID	Kg de residuos vidrio	
HIG	Kg de residuos de higiénicos	
CRKOT	Kg de residuos cerámica y otros	



Al aplicar el ACP sobre esta matriz de 258 lados de manzana sobre la cual se miden 22 variables activas, se encuentra que la varianza de la primera componente principal representa el 25 % de la varianza total, mientras que la varianza de la segunda componente representa el 18 %, de manera que se tendría una variabilidad acumulada de 43 %. Esto significa que si se representan los datos en un plano conformado por estos dos primeros ejes, se tendría entonces el 43 % de la variabilidad total que será preservada, donde según lo considerado por Lebart, *et al.* (1984) esta medida es muy baja para obtener conclusiones estadísticamente sólidas. De hecho, deberían conservarse las siete primeras componentes principales para lograr una explicación del 70 % de la variabilidad total, lo que implica reducir de 22 a 7 la dimensión del análisis. Se decidió en consecuencia no continuar con el análisis bajo estas condiciones, aunque se construyó el círculo de correlaciones (Lebart, *et al.*, 1984), una herramienta gráfica para evaluar el comportamiento general de las variables en los dos primeros ejes factoriales (**Figura 2**). En el círculo de correlaciones se han incluido las seis variables ilustrativas, correspondientes a los seis estratos socioeconómicos de la ciudad de Cali.

Se destaca de la **Figura 2** que se ratifican las conclusiones preliminares sobre las asociaciones entre altos ingresos y altos niveles de educación y de edad. Esto se evidencia en el gráfico porque la dirección de máxima variación de las variables asociadas con los estratos de más altos ingresos, denotadas E4, E5 y E6 (en la parte superior derecha), coincide con la de las variables NPU (número de personas con formación universitaria) y NP46 (número de personas mayores de 45 años de edad). Por el contrario, las variables E1 y E2, de los estratos de más bajos ingresos, están en la misma dirección de las variables NP5 (número de personas menores de 6 años de edad), NP6_17 (número de personas con edades entre 6 y 17 años) y de las variables NPP (número de personas con educación primaria) y NPS (número de personas con educación secundaria). Es decir, a pesar de la escasa habilidad explicativa de este plano factorial, las conclusiones obtenidas en la exploración preliminar se confirman al considerar conjuntamente todas las variables en todos los lados muestreados.

Figura 2. Círculo de correlaciones etapa 1



Un gráfico en el que se representen simultáneamente los 258 lados y las 22 variables en este primer plano factorial es poco ilustrativo, de tal manera que se decide reorganizar los datos de tal manera que los individuos, que para este primer análisis son los lados de manzana, sean agrupados en las 22 comunas, para reducir el número de individuos, y así facilitar la interpretación de los resultados. Se decide además, en atención a los resultados preliminares, conservar menos variables activas e incluir las variables asociadas con el estrato, la educación y la edad como variables ilustrativas. Además, se generó como nueva variable el promedio de familias por comuna (NPF). De esta manera, la segunda parte del análisis incluirá las 22 comunas estudiadas en 12 variables activas y 14 variables ilustrativas.

La nueva organización de los datos revela que la comuna con mayor generación per cápita de residuos sólidos es la comuna 22, ubicada en la zona de más altos ingresos de la ciudad, con una generación de 0,66 Kg por persona por día. En el otro extremo se encuentra la comuna 21, ubicada en la zona de más bajos ingresos de la ciudad, en la que la generación de residuos sólidos observada es de 0,38 kg por persona por día.

Se conduce el ACP y se encuentra que si se seleccionan las primeras dos componentes principales, estas explican un 77 % de la variabilidad total. De hecho, la primera componente principal tiene una capacidad explicativa del 57 %, por sí sola mayor que la capacidad

Tabla 2. Coordenadas de las variables activas en el primer plano factorial para el segundo análisis multivariado

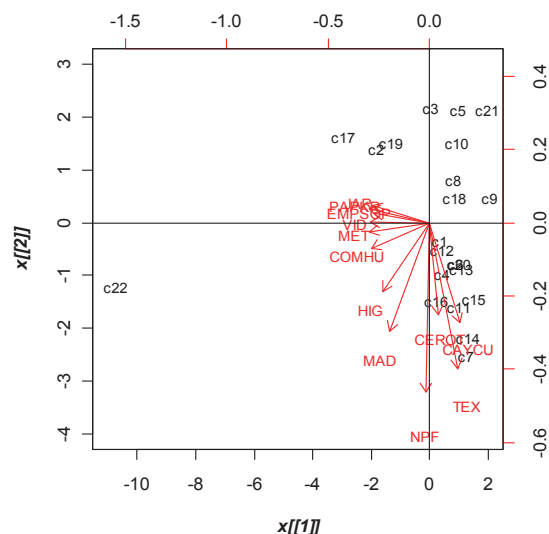
VARIABLES ACTIVAS		
Variable	Componente 1	Componente 2
NPF	-0,217	-0,887
COMHU	-0,945	-0,096
JAR	-0,920	0,096
PAPKR	-0,967	0,084
EMPSOP	-0,903	0,038
MET	-0,980	-0,025
VID	-0,960	0,022
HIG	-0,768	-0,360
CEROT	0,123	-0,507
TEX	0,459	-0,751
MAD	-0,666	-0,464
CAYCU	0,483	-0,541

explicativa del primer plano factorial alcanzada en la primera parte del análisis, que era del 43 %.

La **Tabla 2** despliega las coordenadas en los dos primeros ejes factoriales de las variables activas y permite concluir que la primera componente principal está más influenciada por los residuos sólidos (en especial los residuos de Comida y Huesos (COMHU), Papel y Cartón (PAPKR), Plásticos (EMPSOP), Metálicos (MET), Vidrio (VID) e Higiénicos (HIG)), mientras que la segunda componente lo está más por la variable número de personas por familia (NPF).

Tal como se mencionó, una estrategia analítica que permite visualizar conjuntamente las comunas y las variables es el *biplot*. A través del cual se encontró que las comunas más alejadas del origen de coordenadas son las que presentan un perfil más alejado del perfil medio. El biplot para las 22 comunas y las variables activas se muestra en la **Figura 3** y permite identificar que la comuna 22 es claramente diferente de las demás. Así que una tercera fase del estudio será reconstruir el plano factorial manteniendo la comuna 22 como individuo suplementario.

Para la tercera fase del análisis multivariado se decidió crear una única variable para incluir en ella la suma de los residuos de madera, caucho y cuero (MADCAYCU) y otra para recoger la suma de los residuos textiles, cerámicos y otros (TEXCEROT) (los que tuvieron la menor influencia en la conformación

Figura 3. Representación simultánea (biplot) de las comunas y las variables activas para el segundo análisis multivariado**Tabla 3.** Coordenadas de las variables activas en el primer plano factorial para el tercer análisis multivariado

VARIABLES ACTIVAS		
Variable	Componente 1	Componente 2
COMHU	-0,766	0,299
JAR	-0,873	-0,045
PAPKR	-0,897	-0,286
EMPSOP	-0,924	0,275
MET	-0,899	0,177
VID	-0,893	-0,120
HIG	-0,135	0,697
MADCAYCU	0,338	0,471
TEXCEROT	0,238	0,734

de la primera componente principal en el segundo análisis multivariado). Dado que la variable de tamaño promedio de la familia (NPF) controlaba casi por completo la segunda componente, se excluyó de esta parte del análisis para evaluar la importancia de las demás variables. La comuna 22 se mantiene como individuo suplementario.

En este caso las dos primeras componentes principales permiten explicar el 71 % de la varianza total y, como lo ilustra la **Tabla 3**, la primera componente presenta mayor grado de asociación con las primeras seis variables correspondientes a los residuos sólidos de comida y huesos (COMHU), jardín (JAR), papel y



cartón (PAPKR), bolsas empaques y plástico soplado (EMPSOP), metálicos (MET) y vidrio (VID), mientras que los residuos higiénicos (HIG), madera, caucho y cuero (MADCAYCU), textiles y cerámica y otros (TEXCEROT) caracterizan la segunda componente.

La **Figura 4** presenta el círculo de correlaciones entre variables y componentes del tercer análisis multivariado. Comparando la primera componente se puede observar el cambio significativo que se obtuvo entre el análisis 2 y el análisis 3, omitiendo la comuna 22 como individuo activo y dejándolo como individuo suplementario. Al primer eje, se le podría nombrar *Residuos aprovechables*, ya que está conformado por materiales con contenido orgánico en su mayoría fácilmente biodegradable (jardín, comida y huesos) y residuos reciclables (papel, bolsas, plásticos, vidrio, entre otros) los cuales son los más comunes en los hogares. Con respecto a la segunda componente, se tiene que las variables que la caracterizan son los residuos higiénicos, textiles, caucho y cuero, madera, cerámica y otros, permitiendo así ser nombrada como una componente de *Residuos con bajo potencial de aprovechamiento*, denominación dada conforme con los mercados potenciales de aprovechamiento identificados en la zona de estudio (Marmolejo, 2011).

El estrato 2 es el que genera la mayor proporción de residuos con poco potencial de aprovechamiento y es el estrato donde se encuentra la mayor proporción de personas con nivel educativo primaria y personas con edades menores a 17 años. Se puede ver también que Los estratos 3 y 1, son los estratos que poseen las características promedio de los individuos que generan residuos sólidos domiciliarios en la ciudad. Con respecto a las personas menores de 17 años y personas con nivel educativo primario, son estas las personas que menos aportan a la producción de residuos sólidos.

Se analizó la relación de las comunas (variables activas y suplementarias) con respecto a las diferentes tipos de residuos sólidos domiciliarios (variables activas). En este caso se observó que la comuna 22, es la que presenta los mayores valores en producción de residuos y lo que no permitió observar con claridad el comportamiento de las demás comunas con respecto a todas las variables, razón por la cual este gráfico no se incluyó. Esta condición, puede deberse a que la

comuna 22 es por mucho la parte de la ciudad de Cali donde se concentra la mayor cantidad de personas de altos ingresos, consistente con su alta generación de residuos.

Conforme con lo anterior, la comuna 22 podría ser considerada como una observación atípica que podría ser estudiada por sí sola, por lo que si se suprime de la representación simultánea de este modelo,

Figura 4. Círculo de correlaciones etapa 3

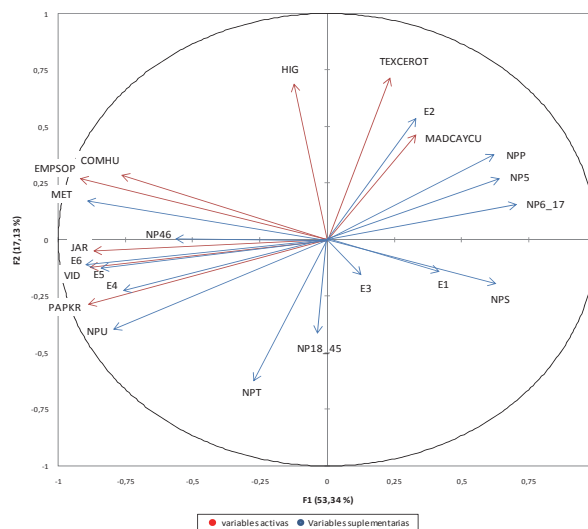
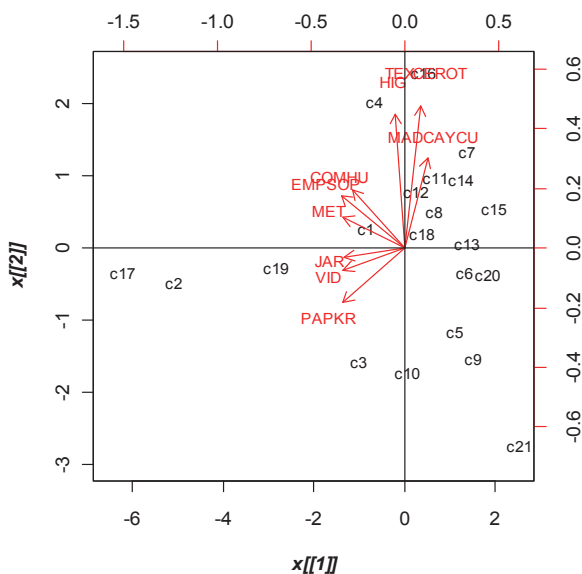


Figura 5. Representación simultánea (biplot) de las comunas y las variables activas para el tercer análisis multivariado



facilita la realización de un análisis más detenido del biplot únicamente con los individuos activos. Este gráfico se presenta en la **Figura 5**, en el que se destaca que las comunas con mayor generación de residuos aprovechables son las comunas 2, 17 y 19, en las que se ubica un alto porcentaje de los barrios de estrato medio alto y alto de la ciudad.

Caso inverso se presenta con las comunas 6, 13, 15 y 20, las cuales se ubican en la parte de menor producción de este tipo de residuos. Una gran proporción de estas comunas cubre barrios con estrato de bajos ingresos. Con respecto a los residuos con bajo potencial de aprovechamiento, se tiene que las comunas de mayor producción son las comunas 4, 16, de ingreso medio-bajo. Las comunas que se podrían denotar como las comunas estándar de la ciudad de Cali, son las comunas 1, 8, 12 y 18, comunas que en su mayoría representan el estrato socioeconómico 3, que es el estrato modal de la población de Cali.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las técnicas estadísticas multivariadas demuestran en este estudio su fortaleza para el manejo de información con un número elevado de individuos y variables, permitiendo obtener a través de su aplicación una representación adecuada de las asociaciones entre la composición familiar y la generación de residuos sólidos.

La técnica de componentes principales permitió para el caso de Cali, corroborar la correlación existente entre la composición socioeconómica de la familia y la generación de los residuos sólidos domiciliarios.

El perfil del mayor generador de residuos sólidos domiciliarios se podría describir como el de una persona que vive en un estrato socioeconómico alto, con nivel de estudios superiores y con edad superior a 46 años.

La autoridad ambiental de la ciudad de Cali y los encargados de la recolección de residuos sólidos deberían estudiar alternativas de educación y de elaboración de rutas que contemplen las realidades de las comunas, promoviendo en particular la separación en la fuente.

El estudio mostró que hay individuos que tipifican la generación y composición de los residuos sólidos de la ciudad; el análisis de estos grupos facilitaría la proyección de medidas de intervención para la ciudad como es el caso de definición de rutas de recolección o sitios de acopio de material con alto potencial de aprovechamiento. De otro lado, existen otros individuos con características muy disímiles (Comuna 22, Comuna 21), que requieren de intervenciones específicas.

Los resultados obtenidos muestran como la técnica de análisis estudiada resulta muy útil para aspectos como la formulación de políticas o intervenciones sectoriales, en ciudades con entornos económicos y sociales tan variados como los de Cali.

REFERENCIAS

- Afroz, R., Hanaki, K. y Tuddin, R. (2010). The Role of Socio-Economic Factors on Household Waste Generation: A Study in a Waste Management Program in Dhaka City, Bangladesh. *Research Journal of Applied Sciences*, 5(3), pp. 183-190
- Agudelo, R. M. (2004). Análisis de la gestión integral de residuos sólidos en la zona sur del área metropolitana del Valle de Aburrá. Disponible en: <http://guajiros.udea.edu.co/fnsp/cvsp/saludambiente/GRS%20zona%20sur.pdf>. [Consultado en junio de 2009].
- Cai, Y.; Huang, G.; Tan, Q. y Li, G. (2008). Development of a Community-Based Participatory Network for Integrated Solid Waste Management. The Fourth "R" Conference, Regina, SK, Canada.
- Departamento Administrativo de Planeación Municipal -DAPM y Universidad del Valle-Univalle, (2006). Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en el municipio de Santiago de Cali-2006. Informe Final Proyecto de Investigación, Santiago de Cali, noviembre de 2011.
- Davis, B. (2009). Solid Waste Management in Mumbai, *The Bombay Community Public Trust*. [Consultado en julio de 2009]. Disponible en: <http://www.bcpt.org.in/webadmin/publications/pubimages/solidwaste.pdf>.
- Díaz, L. G. (2008). *Estadística Multivariada: inferencia y métodos*. 2 Edición. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Hasan, M.S. (2008). Socio-economic Aspects of Solid Waste Recovery and Recycling in Bangladesh: A case Study of Khulna City. Disponible en: <http://www.tasa.org.au/conferences/conferencepapers09/>



- papers/Swapan,%20Mohammad.pdf. [Consultado en julio 2009].
- Klinger, R.; Olaya, J.; Marmolejo, L. y Madera, C. (2009). Plan de muestreo para la cuantificación de residuos sólidos residenciales generados en las zonas urbanas de ciudades de tamaño intermedio. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 48. pp. 76-86.
- Klinger, R. (2011). *Muestreo estadístico: métodos básicos*. Programa Editorial, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Lebart, L.; Morineau, A. and Warwick, K. M. (1984). *Multivariate Descriptive Statistical Analysis: Correspondence Analysis and Related Techniques for Large Matrices*, Wiley, New York.
- Marmolejo, L. F; Klinger, R.; Madera, C.A.; Olaya, J., Marcos, C. y Ordóñez, J.A. (2010). Cuantificación y caracterización local: una herramienta básica para la gestión integral de los residuos sólidos residenciales. *Rev. Ing. e Inv.*, 30(2).
- Marmolejo, L.F. (2011). *Marco conceptual para el aprovechamiento en Plantas de Manejo de Residuos Sólidos de poblaciones menores a 20.000 habitantes del Norte del Valle del Cauca –Colombia*. Tesis Doctoral en Ingeniería. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- MINDESARROLLO-MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO (2000). *Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000 - Sistemas de Aseo Urbano*. Bogotá D.C.
- Ojeda, S.; Armijo, C. y Márquez, M. I. (2008). Household Solid Waste Characterization by Family Socioeconomic Profile as Unit of Analysis. *Resources, Conservation and Recycling*. 52, pp. 992–999.
- Orccosupa, J. (2001). Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos, Santiago de Chile. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iv-056.pdf>. [Consultado en Junio de 2009].
- Poswa, T. T. (2004). *The importance of gender in waste management planning: a challenge for solid waste managers*. Disponible en: <http://kharahais.gov.za/files/waste/037.pdf>. [Consultado en julio 2010].
- R Core Team (2012). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://www.R-project.org>
- Vicente, J. L. (2006a). Análisis de componentes principales. Departamento de Estadística, Universidad de Salamanca. Disponible en: <http://biplot.usal.es/DOCTORADO/3CICLO/BIENIO-04-06/ACP/ACP.pdf>. [Consultado en Junio de 2009].
- Vicente, J. L. (2006b). Los étodos Biplot. Departamento de Estadística, Universidad de Salamanca. Disponible en: <http://biplot.usal.es/DOCTORADO/3CICLO/BIENIO-04-06/Biplot/Apuntes%20Biplot.pdf>. [Consultado en Junio de 2009]

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /
PARA CITAR ESTE ARTIGO /**

Olaya, J.; Ippolito, K.; Moreno, G.; González, V.; Klinger, R.; Madera-Parra, C. y Marmolejo, L. (2013). Asociaciones entre la composición socioeconómica familiar y la generación urbana de residuos sólidos domiciliarios. *Revista EIA*, 10(20) julio-diciembre, pp. 127-137. [Online] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2013.10.20.127-137>