

DOI: 10.24850/j-tyca-14-01-01

Artículos

**Caracterización de residuos sólidos en una institución de educación superior: caso de estudio campus Robledo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín**  
**Characterization of solid waste an institution of higher education: A case study of the Robledo campus of the National University of Colombia, Medellín Headquarters**

Elizabeth Carvajal-Flórez<sup>1</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4850-8850>

Juan José Toro Yepes<sup>2</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9499-4370>

María Inés Realpe Erazo<sup>3</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6966-090X>

<sup>1</sup>Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, [ecarvajalf@unal.co](mailto:ecarvajalf@unal.co)

<sup>2</sup>Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, [jjtoroy@unal.edu.co](mailto:jjtoroy@unal.edu.co)

<sup>3</sup>Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, [mirealpee@unal.edu.co](mailto:mirealpee@unal.edu.co)



Autora para correspondencia: Elizabeth Carvajal-Flórez,  
ecarvajalf@unal.co

## Resumen

El siguiente artículo presenta los resultados de la caracterización de los residuos sólidos (RS) del campus Robledo de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. El propósito del estudio fue determinar la producción total y específica de los residuos no peligrosos, además de establecer medidas de intervención relacionadas con educación ambiental, aprovechamiento, valorización, compra de recipientes y disminución en la tasa de aseo, entre otros, que puedan ser implementadas por las directivas de la universidad en un futuro cercano. En el periodo caracterizado (una semana) se pesaron todos los residuos no peligrosos generados en cada uno de los bloques (edificios), cafeterías y restaurantes, además de establecer la composición física de éstos para conocer la tipología que se genera con mayor predominancia. Se tomó como referencia la norma técnica ASTM D5231-92 y los lineamientos del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS/OPS, para determinar el periodo de muestreo, composición física, producción per cápita y densidad. Los resultados mostraron que en el campus se generan 1 146.9 kg de RS a la semana, 163.7 kg/día y una producción per cápita de 0.054 kg/persona-día; se encontró que hay una gran generación de residuos orgánicos (459.78 kg/semana) y que las cafeterías y restaurantes contribuyen en gran medida a la generación de residuos (50.39 %). Estos resultados también permitirán establecer

patrones de comparación con otras universidades y sectores económicos, y formular estrategias de sostenibilidad y políticas públicas que permitan subsanar problemáticas ambientales locales y regionales asociadas con la gestión de los residuos sólidos.

**Palabras clave:** caracterización de residuos sólidos, producción per cápita de residuos sólidos, composición física de residuos sólidos, densidad de residuos sólidos.

### Abstract

The following article shows the results of solid waste (SW) characterization from the Robledo campus of the National University of Colombia, Medellín headquarters. The purpose of the study was to determine the total and specific production of non-hazardous waste, in addition to establishing intervention measures related to environmental education, use, recovery, containers purchase, and decrease in the cleaning tax, among others, that can be implemented by the university directives shortly. In the characterized period (one week), all the non-hazardous waste generated in each of the blocks (buildings), restaurants and/or cafeterias was weighed and established their physical composition to determine the kind most predominances generated. The technical standard ASTM D5231-92 and the Pan-American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences CEPIS/OPS guidelines were used to determine the sampling period, physical composition, per capita production, and density. The results showed that on-campus, 1 146.9 kg of SW are generated per week, 163.7 kg/day, and a per capita production

of 0.054 kg/person-day, finding that there is a large generation of organic waste (459.78 kg/week) and that restaurants and/or cafeterias contribute significantly to the generation of waste (50.39 %). These results will also make it possible to establish benchmarks compared with other universities and economic sectors, formulate sustainability strategies and public policies, and correct local and regional environmental problems associated with solid waste management.

**Keywords:** Solid waste characterization, per capita solid waste production, physical composition, solid waste density.

Recibido: 05/05/2021

Aceptado: 09/09/2021

## Introducción

Un residuo sólido (RS) se define como cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo

(Alcaldía de Medellín, 2015). De acuerdo con el Informe de Calidad de Vida de Medellín (Medellín Cómo Vamos, 2018), la producción de RS en la ciudad viene aumentando cada año, y las proyecciones de años futuros también muestran esta tendencia de crecimiento. Por ello la gestión de RS es una problemática que ha tomado gran relevancia en la actualidad debido a los diversos problemas sanitarios y de salud pública que se pueden generar, además de los efectos negativos que se provocan sobre el ambiente si no se hace un correcto manejo de éstos.

Lo anterior se ve reflejado en las diferentes instituciones de educación superior, las cuales son generadoras importantes de RS en la ciudad, por lo que el análisis de la producción de éstos requiere gran atención. Dichas instituciones son espacios en los que confluyen estudiantes, docentes, empleados y externos, situación que conlleva a la transformación de insumos, a la generación de materiales de descarte y de RS que requieren el debido manejo, ya sea a través del aprovechamiento, tratamiento y/o disposición final (Coyago, Gonzales, Heredia, & Sánchez, 2016). Se requiere que en ellas se adopten estrategias de desarrollo en todas sus operaciones, con el fin de tener un impacto positivo en el entorno socioeconómico y medioambiental, además del bienestar de la comunidad universitaria, como la aledaña (Adeniran, Nubi, & Adelopo, 2017).

Se han realizado diversos estudios sobre la gestión de RS al interior de diferentes universidades tanto en Colombia como en Latinoamérica, evidenciando altas tasas de generación, incremento de la población estudiantil y altos costos asociados con la gestión de los RS con sus

respectivos efectos negativos. En cuanto a estudios en el tema en instituciones de educación superior, se puede referenciar el caso de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (México). Allí se generan alrededor de seis toneladas mensuales de residuos sólidos, y la separación en la fuente de cartón, papel, latas y envases de PET se hace de manera informal; no existe ningún compromiso por parte de la universidad para la separación de RS (Delgado, 2011). En el caso de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur, Quito (Ecuador), se evidenció que el 51.07 % de los residuos es de naturaleza orgánica; 22.17 %, plásticos; 16.45%, papel; 7.05 %, vidrio y metales; 3.12 %, restos inorgánicos; 0.14 %, residuos especiales, como aparatos electrónicos, y 0.01 %, residuos peligrosos como pilas. La producción per cápita (ppc) (kg/persona-día) se calculó en 0.3 kg/persona-día. De esta investigación se concluyó que la cantidad de residuos generados en un establecimiento universitario pequeño no requiere la separación en la fuente de más de dos tipos distintos y por tanto se recomendó la disposición en dos contenedores: uno para residuos reciclables y otro de residuos no reciclables, cuyo destino final sea el relleno sanitario en el caso de los primeros y ser entregados a gestores externos para los segundos (Coyago *et al.*, 2016).

Por otro lado, la Universidad Tecnológica de Salamanca (México) elaboró un plan de manejo de RS, cuantificando cantidades y composición, así como el establecimiento de estrategias para la disposición final, tratamiento o confinamiento. Se determinó una producción per cápita de 0.0392 kg/persona-día, y que el 71.635 % del

residuo total es susceptible al proceso de compostaje; 25.833 % es material reciclable y sólo el 2.532 % debe destinarse a un relleno sanitario (Vargas, Alvarado, López, & Cisneros, 2015). En el caso de la Universidad de Lagos (Nigeria), se encontró que el material reciclable está constituido por el 75 % del total de los residuos generados. La generación diaria promedio es de 32.2 toneladas, de las cuales el 15 % corresponde a materia orgánica que puede transformarse a través de compostaje o de manera integral en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Se concluyó que es necesario la implementación de políticas internas en la que se involucre a la comunidad, que conduzcan a la reducción en la fuente y al mejoramiento en el reciclaje de los RS (Adeniran *et al.*, 2017). En la Ciudad Universitaria de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (México) se llevó a cabo un estudio para conocer la gestión interna de los RS en el campus universitario. Los resultados mostraron que se generan 677.6 kg/día de residuos sólidos, con una ppc de 0.143 kg/persona-día; de este estudio se concluyó que la educación ambiental es la herramienta más válida para incentivar nuevos hábitos, actitudes y valores en la población universitaria, además de propiciar la corresponsabilidad social en la solución de los problemas ambientales, que en el caso de las instituciones de educación superior adquieren una dimensión mayor (Vera-Toledo, Nájera-Aguilar, García-Lara, & Solís-López, 1970).

En virtud de los antecedentes mencionados y a que no se tienen datos actualizados sobre la gestión de los RS en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, se efectuó el presente estudio. Su propósito fue conocer las cantidades reales de RS no peligrosos que se generan en

el Campus Robledo, así como proponer medidas de intervención a las situaciones encontradas. Para tal fin, un grupo de estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental, con el direccionamiento de una docente del Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, y el apoyo de la Oficina de Gestión Ambiental de la Sede, la Coordinación de Aseo, la Unidad Administrativa de Infraestructura y Proyectos del campus, la empresa Aseo y Sostenimiento, y la Cooperativa Multiactiva de Recicladores de Medellín (Recimed) realizaron la caracterización de los residuos durante una semana del mes de febrero del año 2020, como línea base para el fortalecimiento de la gestión ambiental asociada con los residuos sólidos.

Dicha caracterización se hizo bajo condiciones normales de operación del campus de Robledo (conocida como Facultad de Minas), en la cual hay presencia permanente de estudiantes de pregrado y posgrado, empleados administrativos, docentes, contratistas y visitantes, entre otros. El campus tiene un área de 100 900 m<sup>2</sup>, y está conformado por aulas de clase, laboratorios, oficinas, cafeterías, restaurantes, zonas verdes y recreativas. La población objeto de estudio fue de 3 038 personas. En el periodo caracterizado se pesaron todos los residuos no peligrosos generados en cada uno de los bloques (edificios), cafeterías, restaurantes y bloques externos al campus central de Robledo.

Finalmente, con los resultados obtenidos, se prevé la intervención por parte de las instancias administrativas de la universidad para implementar medidas de manejo a las problemáticas identificadas, así como la potencialización de planes y programas que actualmente se

desarrollan en materia de gestión ambiental. De la misma manera, se busca que las instituciones de educación superior se reconozcan como entes generadores de altas cantidades de residuos, al igual que las organizaciones productivas o de servicios; y que por lo tanto se requiere de la implementación de estrategias de sostenibilidad que conduzcan a la consecuente minimización de impactos ambientales negativos, al cumplimiento normativo y, por ende, que se beneficien por la no imposición de multas y sanciones por parte de los entes de control.

## Materiales y métodos

La cuantificación de los residuos sólidos no peligrosos que se generan en el Campus de Robledo, así como su composición física (tipología por tipo de residuo), se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre el 17 y el 24 de febrero del año 2020, donde se pesó la totalidad de los residuos generados en cada uno de los bloques (edificios), incluyendo cafeterías y restaurantes, así como los bloques externos aledaños al campus.

Se hizo una recolección diaria en los puntos de entrega de las bolsas plásticas de colores (verde, beige y gris), cuyas especificaciones técnicas son las siguientes: espesor de 1.6 mm y de capacidad de 25 kg, las cuales

estaban diferenciadas por tipo de residuo; el personal de la empresa encargada del aseo interno las llevó a acopios intermedios y a contenedores de volumen variable (en su mayoría de 55 galones de tipo plástico), ubicados en los exteriores de cada bloque.

Previamente se dio instrucciones y capacitación al personal de la empresa de aseo interna para que marcaran las bolsas plásticas con el número del bloque, a fin de identificar los lugares de origen de los RS. Una vez recolectadas, se llevaron al centro de acopio del campus y se procedió a abrir las bolsas, clasificando y pesando los residuos en una báscula digital de 200 kg de capacidad, calibrada cada año. Se usaron las siguientes categorías, para establecer su composición física, a través de su porcentaje de participación. Es importante aclarar que las categorías que se describen a continuación corresponden a los nombres comerciales usados en el país, razón por la cual la cooperativa Recimed clasifica los RS acorde con dichas categorías:

- Ordinarios e inertes: corresponde a los residuos no aprovechables o que no pueden ser reconvertidos en subproductos o materia prima para diversos procesos productivos, y por lo tanto deben ser dispuestos en rellenos sanitarios para su disposición final.
- Orgánicos: son todos aquellos excedentes de la preparación y consumo de alimentos, y son producidos en su mayoría por las cafeterías y restaurantes del campus. También se encuentra la borra, cuncho o viruta del café.

- Aprovechables: son todos aquellos elementos sólidos susceptibles de aprovechamiento para su reincorporación a un proceso productivo.
- Cartón: corresponde a las cajas de cartón corrugado en las que se embalan o empacan productos.
- Archivo: son hojas de papel de cuaderno, hojas bond carta u oficio, propalcote, periódico, revistas y papel publicitario.
- Tetrapack: son los recipientes para el envasado de líquidos como refrescos, jugos y leche. Son los recipientes conformados por cuatro capas, tres de cartón y una de aluminio.
- Plegadiza: es el cartón delgado, flexible y/o plastificado.
- Vidrio: pueden ser de color verde, ámbar o transparente.
- Vasos de papel-cartón: utilizados en el consumo de bebidas como café y jugos.
- Platos, vasos desechables y recipientes transparentes: fabricados en poliestireno o polipropileno, donde se distribuyen bebidas, ensaladas, frutas y alimentos.
- PET: son los recipientes utilizados para el almacenamiento de líquidos y bebidas. La mayor cantidad corresponde a botellas para el consumo personal de bebidas (< 300 ml).
- Plástico tipo pasta: corresponde a los materiales plásticos diferentes al PET y desechables transparentes en los que se envasan productos alimenticios como yogures y avenas, entre otros; o donde hay

lapiceros, marcadores, recipientes de productos de aseo, partes o piezas de sillas, mesas, etcétera.

- Bolsas plásticas: fabricadas en polietileno de alta y baja densidad, limpias o impregnadas de líquidos, aceites o alimentos.
- Aluminio: son las latas en las cuales se envasan alimentos y bebidas.
- Chatarra: corresponde a materiales ferrosos o no ferrosos.
- Materia vegetal: aunque este tipo de residuo no se encontraba dentro del alcance de la caracterización, se encontraron hojas de árboles, así como hierba generadas por el mantenimiento de zonas verdes del campus.
- Residuos peligrosos: aunque el campus cuenta con una ruta diferenciada para la recolección y gestión externa de residuos peligrosos, se encontraron residuos de riesgo biológico y químico mezclados con los demás residuos objeto de la caracterización.

Se aclara que no se determinó una muestra estadística para seleccionar una porción de residuos en su caracterización. Se pesó la totalidad de los residuos generados en una semana, a fin de conocer valores reales y no aproximados. Los lineamientos técnicos para la determinación del periodo de muestreo, composición física, producción per cápita y prueba de densidad se tomaron a partir de lo dispuesto en la norma técnica ASTM D5231-92 (Management, , A. C. D.-34 on W, 2008), a lo establecido en el método sencillo del análisis de residuos sólidos CEPIS/OPS (Sakurai, 2000) y al documento de procedimientos

estadísticos para la caracterización de RS (Cantanhede, Monge, Sandoval-Alvarado, & Caycho-Chumpitaz, 2005).

También se hizo la prueba de densidad, que consistió en depositar los residuos en un recipiente de volumen y peso conocido. Los residuos sin clasificar se pusieron en el recipiente sin ser compactados o apisonados al interior de éste. Sólo se homogeneizaron los RS, de tal forma que quedara el menor espacio entre ellos. Para el cálculo de dicho parámetro se requirió el peso de los residuos (se obtuvo al hacer una diferencia entre el recipiente lleno y vacío) y el volumen que ocupaban en un recipiente determinado. La fórmula usada fue la siguiente:

$$\rho_{RS} = \frac{W_{RS}}{V_{caneca}} = (kg/m^3)$$

La prueba se realizó por cuatro días, por triplicado, para tener el menor grado de incertidumbre. Se usaron los siguientes datos:

- Peso de la caneca vacía: 2.32 kg
- Volumen del recipiente: 60 litros

## Resultados y discusión

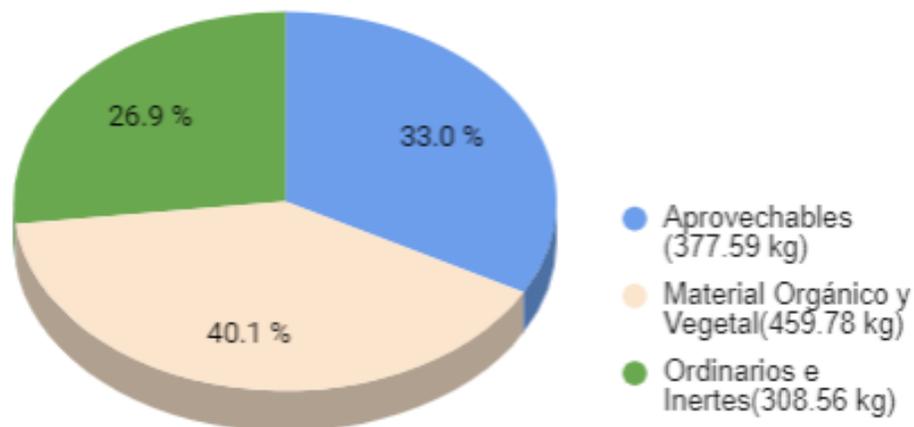
A continuación se presentan los resultados obtenidos en la caracterización, discriminando cantidades totales por bloque y por tipología de residuos.

Durante la semana de muestreo se produjeron alrededor de 1 145.9 kg de residuos en el campus, para un promedio diario de 163.7 kg. Se puede identificar que las cafeterías y/o restaurantes son las mayores productoras de residuos (50.39 %), seguido de los bloques con un 49.61%, debido a la gran afluencia de estudiantes por la presencia de aulas de clase, laboratorios, salas de estudio y gimnasio.

Los resultados mostraron que el martes es el día de mayor generación de residuos en el campus, con un valor de 223.9 kilos, seguido del día viernes con 215.6 kilos. De acuerdo con información suministrada por la Dirección de Planeación, algunos de estos días coinciden con los de mayor presencia de estudiantes debido a la programación académica que se realiza en el campus, situación que incide en el incremento en la cantidad de RS. Los fines de semana, la generación baja considerablemente, toda vez que la oferta académica en esos días es muy baja, además de que hay poca presencia de empleados.

La Figura 1 presenta el peso y el porcentaje de contribución de los residuos aprovechables y no aprovechables producidos en el periodo de

estudio, distribuidos en residuos aprovechables (vidrio, papel, cartón, plásticos, etc.), orgánicos y no aprovechables como ordinarios e inertes.



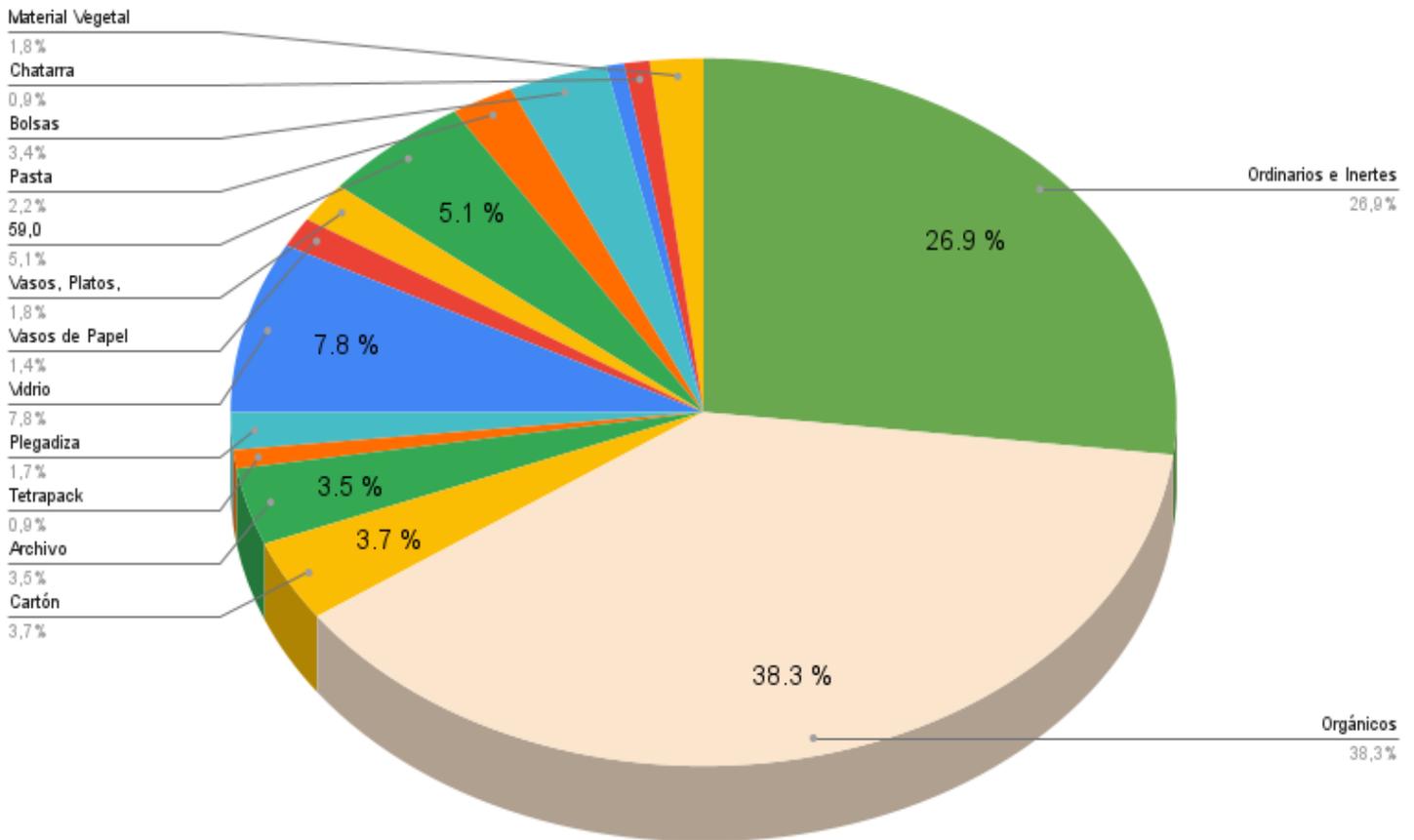
**Figura 1.** Distribución porcentual de residuos aprovechables y no aprovechables.

En la Figura 1 se observa que los residuos de naturaleza orgánica y vegetal son los de mayor contribución, con un 40.1 %. Cabe resaltar que la mayoría de los residuos orgánicos provienen de las cafeterías y restaurantes del campus, y destacan los restos de frutas y verduras, sobras de alimentos, huesos y alimentos descompuestos, entre otros, que en su mayoría tienen altos contenidos de humedad y líquidos, lo que incrementa su peso; al evaluar resultados de otros estudios de Meza y Briceño (2013), Ruiz-Morales (2012), Caldera (2016), y Armijo-de-Vega, Ojeda-Benítez y Ramírez-Barreto (2008), se encuentra que el porcentaje

de contribución de este tipo de residuos es de 37, 50.6, 15 y 30.8 %, respectivamente; se establece entonces que el total de estos residuos puede variar mucho de acuerdo con las condiciones de cada institución universitaria; es decir, si son públicas o privadas, el nivel adquisitivo de los estudiantes, los patrones de consumo y tipo de alimentación, entre otras variables. En dicha categoría también se incluyó el material vegetal, ya que en algunos días del estudio se encontraron hojas y ramas de árboles, pese a la directriz de la coordinación de Aseo de la Sede de que estos residuos fueran dispuestos en las zonas verdes, a fin de que no se recolectaran por la empresa de aseo de la ciudad, y por ende no se incrementara el costo de la factura asociado con tal servicio.

Los residuos aprovechables representan el 33 % del total de los residuos, donde el 12.5 % corresponde a plásticos (pasta, bolsas, vasos y platos transparentes y PET); el 11.2 % a papel y cartón (incluido plegadiza, vasos de papel y tetrapack); el 7.8 % a vidrio, y el 1.47 % a metales ferrosos y no ferrosos (chatarra y aluminio) (Figura 2). Todos estos son materiales catalogados como aprovechables, por lo tanto, la empresa encargada de la recuperación de estos (Recimed) los puede comercializar a través de sus intermediarios y reincorporarse en la cadena productiva. Este porcentaje podría incrementarse si se mejorara la separación en la fuente y se garantizara el uso de recipientes adecuados que permitieran tal fin. Otros estudios en universidades colombianas, como la Universidad del Bosque y la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) seccional Bucaramanga, muestran porcentajes aproximados para este tipo de residuos del 26.7 y 44.2 %, respectivamente (Meza &

Briceño, 2013; Montoya-Rodríguez & Martínez, 2013); los resultados obtenidos siguen la tendencia de las instituciones en el contexto del país. En el caso del estudio de Barrientos (2010), donde las tasas de generación de papel y cartón, vidrio, plástico y metales fueron del 82, 8, 4 y 2 %, respectivamente, los valores coinciden para el vidrio y los metales, pero difieren para plástico, papel y cartón. Este último porcentaje obedece a que, en dicho estudio, se contabilizó el papel y cartón generado en el área de publicaciones, situación que para el caso de la Universidad estudiada no aplica. Al comparar los valores obtenidos con el estudio de la universidad Lasallista (Quintana & Echeverri, 2004), el cual reporta valores de 50.14 % para papel; 8.33 % para vidrio; 20.74 % para plástico; 0.21 % para latas, y 20.57 % para cartón, se encuentra entonces que el valor más similares el del vidrio, toda vez que los demás materiales aprovechables están muy por encima de los valores encontrados. Esto puede obedecer a que actualmente se promueve en la universidad la sustitución de plásticos y de papel, lo cual propicia el empleo de envases reusables, la prohibición de plásticos de un solo uso y la documentación electrónica para disminuir el consumo de papel.



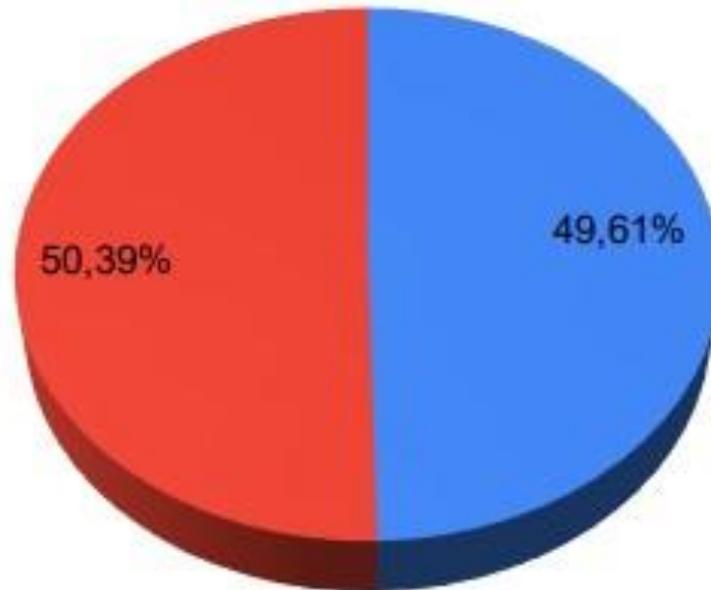
**Figura 2.** Distribución porcentual de la composición física de los residuos de la Facultad de Minas.

Los residuos ordinarios e inertes representan el 26.9 % (44.1 kg/día); este valor de contribución varía mucho de acuerdo con la metodología usada en cada estudio en las diferentes universidades de Latinoamérica.

Comparando este valor con el del estudio de la Universidad de Costa Rica (Barrientos, 2010), se encontró que en este estudio los residuos inertes corresponden a 606.7 kg/día, valor que es mucho mayor al del estudio de referencia. Esta situación obedece principalmente a que en la Universidad de Costa Rica la población estudiantil, docentes y administrativos es de 9 000 personas, tres veces más que la de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín; además, en el primer caso el proceso de separación en la fuente es nula, lo que conduce a la se pierda mayor cantidad de residuos para su posterior aprovechamiento, y por lo tanto se convierten en residuos ordinarios o inertes que se llevarán a un relleno sanitario.

La Figura 3 presenta cómo se distribuyen los residuos según la fuente de generación: el 50.4 % corresponde a los residuos de cafeterías y restaurantes; el 49.6 %, a los generados en las actividades misionales de la universidad en cada uno de los bloques del campus.

■ BLOQUES ■ CAFETERÍAS



**Figura 3.** Distribución porcentual de residuos en bloques y cafeterías y restaurantes.

En los resultados se observa que en casi todos los bloques los residuos aprovechables son los de mayor generación; esto muestra que si se hace un correcto manejo y gestión de ellos se pueden reciclar y volver a introducirlos a la cadena productiva, disminuyendo el valor de la tarifa de aseo; en las cafeterías, los residuos orgánicos son los de mayor generación, acorde con la naturaleza de sus actividades (preparación de alimentos). También se producen residuos aprovechables producto de la venta de productos comestibles, distribución de bebidas y alimentos en

plástico y vidrio, y embalaje de comidas, entre otros. Estos resultados concuerdan con estudios similares de Armijo-de-Vega *et al.* (2008) y Caldera (2016), donde se realizaba una caracterización de los residuos por bloques, donde los edificios administrativos y estudiantiles tenían una mayor generación de residuos aprovechables, mientras en las zonas de comida predominaba la generación de residuos de alimentos.

Con todo lo anterior se tiene que la producción total promedio diaria en el campus es de 163.7 kg, siendo los residuos orgánicos los de mayor aporte en peso con 65.7 kg/día, seguidos por los residuos aprovechables con 53.9 kg/día, y los ordinarios e inertes con 44.1 kg/día.

Además se comparó la producción de residuos en diferentes periodos de tiempo. La Tabla 1 muestra la variación en la producción total por tipo de residuos de RS en el campus de los años 2011, 2016 y 2020. Los valores presentados de los dos primeros años se tomaron del Plan de manejo integral de RS PMIRS y su actualización (Oficina de Gestión Ambiental, U. N. de C. S. M., 2016), los cuales fueron suministrados por la oficina de Gestión Ambiental de la sede. Se puede evidenciar que la producción total de residuos se redujo un 43.4 % en 2020, comparado con 2016, pese a que la población estudiantil se ha incrementado en los últimos años. Una posible causa de esta situación podría obedecer a la anormalidad académica que se presentó desde el año 2018, y aunque la caracterización se realizó en una semana en la cual se presentaban condiciones normales de funcionamiento del campus, se presenta menor cantidad de estudiantes, toda vez que al estar el semestre fraccionado entre el 2019 y 2020, algunos estudiantes cancelaron asignaturas y se

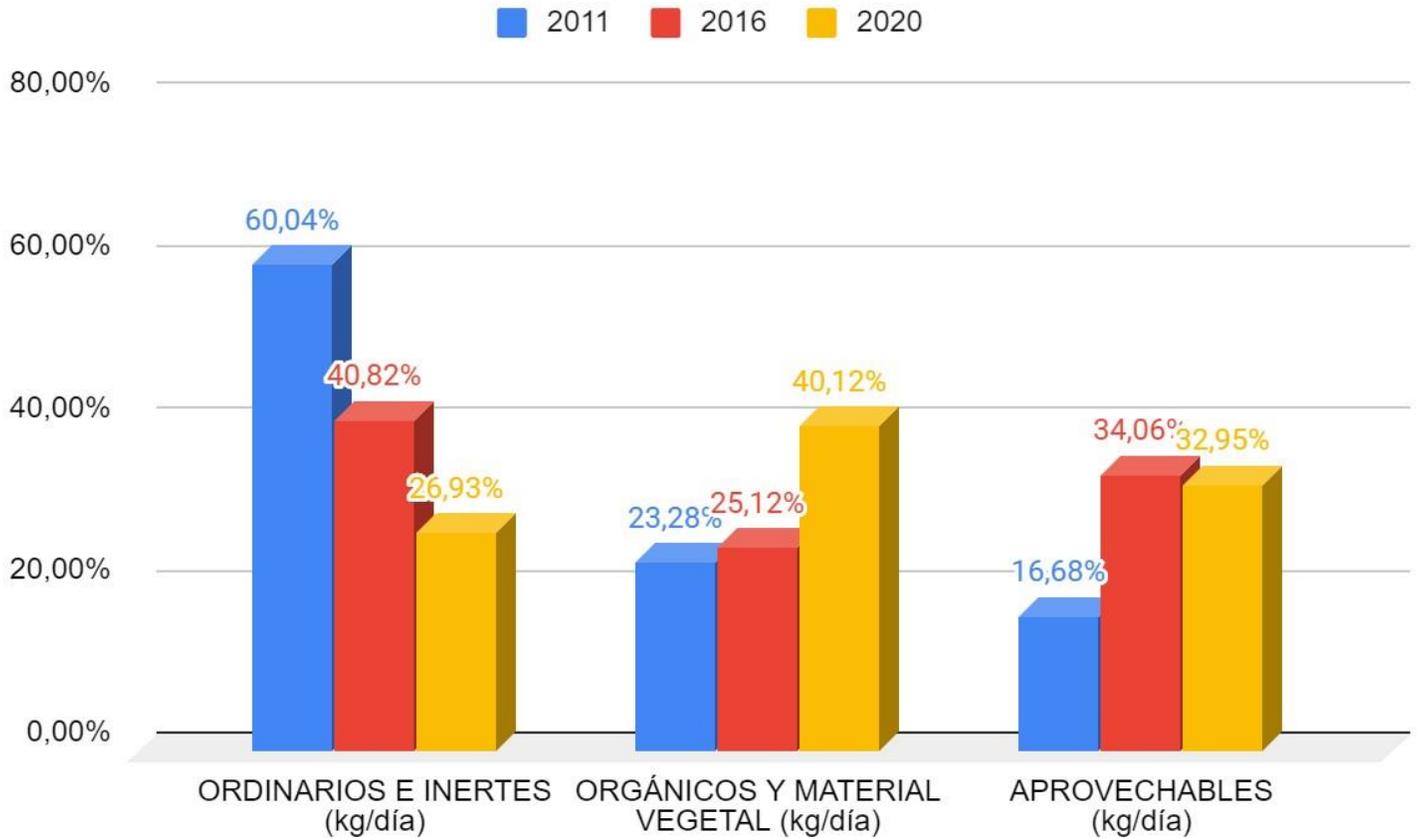
han ausentado para la realización de prácticas académicas, entre otras causas.

**Tabla 1.** Comparación de la producción por tipo de RS en el campus de Robledo 2011, 2016 y 2020.

Tipo de residuo	2011	2016	2020
Ordinarios e inertes (kg/día)	81.2	116.5	44.1
Orgánicos y material vegetal (kg/día)	31.4	71.7	65.7
Aprovechables (kg/día)	22.5	97.2	53.9
Total (kg/día)	134.9	285.4	163.7

Al realizar la comparación entre cada año, en la Figura 4 se puede percibir que todos los tipos de residuos son generados en mayor cantidad en el año 2016, donde es importante anotar que la fracción de residuos ordinarios e inertes ha disminuido considerablemente (33.11 %) entre el 2011 y el 2020, situación que podría obedecer a las campañas de sensibilización que se han implementado interna y externamente al campus para mejorar los hábitos de consumo y separación en la fuente; a la instalación de los recipientes que permiten la separación de residuos en algunas zonas; a los esfuerzos emprendidos por las diferentes instancias en materia de RS; y al incremento en los tipos y cadenas de comercialización, lo cual favorece que más residuos se aprovechen y no se lleven a disposición final. El porcentaje de los residuos aprovechables

ha permanecido constante en los diferentes años; no obstante, estas tasas podrían mejorarse si se promueve una mayor separación, garantizando recipientes, cambios de hábitos y patrones de consumo, etcétera. Por último, en relación con los residuos orgánicos, se observa que las tasas se incrementaron en un 15 % con respecto a 2016 y en 16.9 % con respecto a 2011. Una posible causa es que se ha ampliado la cobertura en el bono alimenticio para los estudiantes, lo cual incide en mayor demanda de alimentos por parte de los alumnos, además de la apertura de una nueva cafetería en el bloque M10, con mayor oferta en alimentación para toda la comunidad académica.



**Figura 4.** Distribución porcentual de la producción por tipo de RS en el campus Robledo 2011, 2016 y 2020.

## Producción per cápita

De acuerdo con información suministrada por la oficina de Gestión Ambiental de la Sede, la población total en el campus Robledo es de 7 663 personas, con 6 945 estudiantes de pregrado y posgrado; y 718 empleados, incluyendo docentes, administrativos, contratistas, y personal de aseo y vigilancia.

Para el cálculo de la ppc se usan los datos de la población en el campus (estudiantes, empleados y contratistas, entre otros) y la producción promedio diaria de residuos; sin embargo, para este caso, como no puede afirmarse que todos los estudiantes matriculados permanecen diariamente en el campus, se procedió a indagar en otras fuentes de información que permitieran tener un mayor acercamiento de la ocupación real de los estudiantes en las instalaciones del campus. En tal sentido, la Dirección de Ordenamiento y Desarrollo Físico de la sede lleva un registro de las aulas disponibles, así como su ocupación por periodo académico, estableciendo entonces que fueron ocupadas en promedio por 2 317 estudiantes diariamente. Así, se tomó dicho valor para los estudiantes, y 718 para empleados y contratistas, para una población total de 3 038 personas, y una producción diaria de residuos de 163.7 kg/día. Por todo lo anterior, la ppc para el campus Robledo es de 0.054 kg/persona-día.

Al comparar el valor de la ppc calculada para el campus con otros reportados por la literatura, se evidencia que ésta no difiere sustancialmente de otras investigaciones. Por ejemplo, en el plan de manejo de residuos de la Universidad de 2016 se determinó una ppc de 0.11 kg/persona-día, valor superior al calculado en el presente estudio; no obstante, la producción de residuos en ese periodo fue de 285.5 kg/día, casi el doble de la producción actual, razón por la cual la ppc es mayor. En el estudio de la caracterización de RS de la Universidad Pontificia Bolivariana de la ciudad de Bucaramanga, Colombia, se obtuvo un valor de la ppc del orden de 0.062 kg/persona-día, y una producción diaria de 408.18 kg/día. Esta caracterización da cuenta de que el valor obtenido para el campus de Robledo está por debajo de la obtenida en dicho estudio. Tal situación podría relacionarse con que en el campus se ubica la Facultad de Minas, la cual es la facultad de ingeniería más grande del país y que por tratarse de una universidad pública, la demanda académica es mucho mayor a la de una universidad privada, y por lo tanto tendrá mayor cantidad de estudiantes matriculados, lo que hace que al relacionar la producción total con el número de estudiantes sea mucha menor. Además, por tratarse de una universidad pública, los niveles adquisitivos de los estudiantes son menores a los de una privada, situación que va ligada directamente con los patrones de consumo y la generación de residuos. Se destaca que en el estudio de la Universidad Pontificia Bolivariana se incluyó en el cálculo de la ppc los residuos de jardinería, situación que incide en el valor de la ppc. Para el caso particular, los residuos de jardinería y mantenimiento de zonas verdes no se tomaron en cuenta en su totalidad, a excepción de dos días que llegó

una fracción de ellos, mezclados con los demás residuos caracterizados. Finalmente, estudios realizados en universidades mexicanas presentaron una ppc de 0.098 kg/persona-día para la UNAM (Facultad de Ingeniería, 2011); 0.33 kg/persona-día para la Universidad Iberoamericana (Ruiz-Morales, 2012), y 0.05 kg/persona-día para la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) (Armijo-de-Vega *et al.*, 2008). Por lo anterior, se concluye que la Universidad Iberoamericana, de carácter privado, tiene una mayor ppc que la población objeto de estudio y que de las otras dos universidades mexicanas descritas (de carácter público); esto corrobora que la ppc se incrementa en universidades privadas debido a mayor poder adquisitivo y, por ende, consumo, lo cual se ve representado en la generación de residuos sólidos.

## Prueba de densidad

Las densidades permiten determinar la tipología de recipientes y el dimensionamiento de los centros de acopio. La Tabla 2 presenta la densidad de los RS en el recipiente. De allí se puede establecer que el valor promedio es bajo en comparación con los datos que reporta la literatura para los RS urbanos, toda vez que se relacionan densidades del orden de 200 kg/m<sup>3</sup> (Sakurai, 2000). Este valor podría obedecer a

que en la prueba de densidad no se incluyeron los residuos provenientes de las cafeterías, especialmente los de tipo orgánico, lo cual incide en un menor aporte en peso. Sólo se tomaron las bolsas de color verde de los diferentes bloques, excepto, como ya se ha mencionado, los de las cafeterías que están separados del resto de los residuos. En caso de utilizar este dato para efectos de diseño de sistemas de aprovechamiento, o dimensionamiento de centros de acopio, se recomienda realizar nuevamente la prueba, incluyendo el peso real de los residuos orgánicos.

**Tabla 2.** Densidad de los residuos en el recipiente

Día	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>prom</sub>	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Martes	5.16	6.08	5.1	5.4	52.1
Miércoles	4.6	6.14	6.9	5.9	59.3
Jueves	4.95	6.01	5.75	5.6	54.2
Viernes	5.54	5	5.9	5.5	52.7
<b>Densidad promedio</b>					<b>54.6</b>

En el estudio de caracterización de RS de la Universidad LaSallista en Colombia (Quintana & Echeverri, 2004), la densidad de compactación fue de 300 kg/m<sup>3</sup>, valor cinco veces mayor al del presente estudio; esta situación podría obedecer a que en el estudio de la Universidad LaSallista

para determinar la densidad se incluyeron residuos de restos de alimentos y material vegetal, que representan mayor peso por unidad de volumen, lo que ocasiona un incremento en el valor de la densidad.

## Propuestas de intervención

De acuerdo con las situaciones encontradas en la caracterización, se proponen las siguientes medidas de intervención, asociadas con la gestión de los RS en el campus universitario:

- Diseñar e implementar una campaña educativa para lograr una mayor tasa de separación en la fuente, especialmente en las áreas administrativas (oficinas de empleados y docentes). toda vez que se evidenció gran cantidad de materiales mezclados, lo cual reduce la posibilidad de ser aprovechados posteriormente a través de diferentes procesos. Se propone que estas campañas se implementen dos veces al año, en las cuales se muestren las diferentes estrategias desarrolladas, con el fin de dar a conocer los diferentes resultados de estas estrategias y así poder involucrar de forma integral la comunidad universitaria frente a los temas ambientales.

- Hacer seguimiento a los laboratorios de la sede en cuanto a la separación de residuos peligrosos y no peligrosos debido a que se encontraron residuos como residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), guantes, medicamentos, reactivos, etcétera, sobre todo en los bloques donde están laboratorios de docencia e investigación.
- Realizar caracterizaciones anuales a fin de establecer comparativos y evaluar el grado de cumplimiento de las metas propuestas por las diferentes instancias encargadas de la gestión de residuos sólidos en el campus.
- Iniciar el proceso de cambio de los recipientes actuales con base en el código de colores institucionalizados a partir de la normatividad colombiana (Resolución No. 2184 de 2019), lo cual permitirá llevar a cabo una separación de diferencias por tipo de residuo.
- Restringir el uso de poliestireno expandido u otro tipo de empaque de alimentos suministrados en eventos académicos o restaurantes externos, evitando que se incremente la generación o poca posibilidad de aprovechamiento al interior del campus. En este sentido, se propone la creación de un protocolo y norma interna en la que se relacione la tipología de empaques que se deben usar en el suministro de alimentos (refrigerios, estaciones de café, almuerzos, o cualquier servicio de alimentación) en eventos académicos y sociales programados por docentes y personal administrativo.

- Elaborar un protocolo con el Área de Bienestar para que las cafeterías puedan hacer un adecuado embalaje de vasos y loza quebrada, así como de cuchillos y material cortopunzante, pues se evidenció en la caracterización que se entregaron al personal de recolección sin ningún tipo de envoltura o embalaje, lo cual pone en riesgo al personal que lo manipula.
- Instalar un punto de acopio de RAEE, de tal forma que el campus pueda disponer de algunos de estos residuos que se generan en sus actividades cotidianas, como audífonos, computadores y tabletas, entre otras.
- Disminuir el uso de papel en las diferentes dependencias y actividades de la universidad, incentivando el uso de medios electrónicos.
- Rediseñar rótulos para las canecas, donde tengan información escrita y gráfica acerca de los residuos correspondientes para cada uno, toda vez que, a la fecha, muchos recipientes no disponen de ellos o están deteriorados.
- Enviar correos masivos a la comunidad universitaria mostrando algunos resultados e imágenes de la caracterización actual, incluyendo las recomendaciones más relevantes para impactar y generar conciencia colectiva.
- Establecer un programa de aprovechamiento de residuos orgánicos en el campus Robledo mediante el uso de compostaje, pacas y/o biodigestores para generar abono, que sea aprovechable dentro de las mismas instalaciones.

- Capacitar al personal de aseo y de las cafeterías en cuanto al manejo de RS, con el fin de tener un mejor manejo y disposición de los residuos generados.
- Evaluar algunas alternativas que ofrece el mercado para la comercialización y el aprovechamiento de materiales como plástico, vidrio y metales, como recambio de botellas por incentivos; llenado de botellas de PET con empaque de comestibles; uso de botellas reusables para el consumo de líquidos en las cafeterías y restaurantes, entre otras.
- Incentivar a los docentes y grupos de investigación para que se propongan iniciativas de manejo y transformación de residuos en sus investigaciones, para contribuir a una problemática local y, en general, de toda la comunidad.
- Solicitar a la empresa de aseo municipal un reaforo de residuos sólidos, para buscar una reducción en la tarifa de aseo, toda vez que una porción importante de RS es aprovechable; dichos residuos no son recolectados en el servicio ordinario para ser llevados al relleno sanitario, sino que son recuperados internamente por Recimed para su comercialización.

## Conclusiones

- En los bloques del campus hay una mayor generación de residuos aprovechables, lo cual evidencia su potencial para su valorización en el mercado y reincorporación a la cadena productiva, además de la posibilidad de implementar campañas para disminuir la generación de residuos como plásticos de un solo uso y papel en cada uno de los edificios.
- Se evidencia una mala cultura frente al tema de la separación en la fuente por parte de la comunidad universitaria debido a que los RS se encontraron mezclados en las diferentes bolsas, lo cual dificulta su caracterización y posterior aprovechamiento.
- Los residuos orgánicos son los de mayor producción en peso (40.1 %), lo cual muestra un elevado potencial de aprovechamiento, que disminuiría de forma significativa la cantidad de residuos recolectados por parte de la empresa de aseo; además representaría un ahorro económico para la universidad por la disminución de la tarifa de aseo; también muestra la posibilidad de generar programas de aprovechamiento de residuos, por lo que es recomendable el uso de compostaje y/o biodigestores para generar abono, que sea aprovechable dentro del campus.

- La generación promedio diaria de residuos aprovechables es de 53.9 kilogramos, es decir el 33 % del total, por lo tanto la empresa encargada de la recuperación de los mismos (Recimed), los puede comercializar a través de sus intermediarios. Este porcentaje podría incrementarse de mejorarse la separación en la fuente y garantizando recipientes que permitan tal fin.
- La ppc en el campus Robledo fue de 0.054 kg/persona-día. Tal valor está por debajo de otros estudios de caracterización de residuos en instituciones de educación superior, lo cual puede obedecer a los niveles adquisitivos y patrones de consumo de la población universitaria, especialmente la estudiantil, incidiendo en que la generación de RS sea menor.

## Referencias

- Adeniran, A. E., Nubi, A. T., & Adelopo, A. O. (2017). Solid waste generation and characterization in the University of Lagos for a sustainable waste management. *Waste Management*, 67, 3-10.
- Armijo-de-Vega, C., Ojeda-Benítez, S., & Ramírez-Barreto, M. E. (2008). Solid waste characterization and recycling potential for a university campus. *Waste Management*, 28(Suppl. 1), S21-S26. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.03.022>
- Barrientos, Z. (2010). Generación y gestión de residuos sólidos ordinarios en la Universidad Nacional de Costa Rica: patrones cuantitativos y

- sociológicos. *UNED Research Journal*, 2(2), 135-145. Recuperado de <https://doi.org/10.22458/urj.v2i2.154>
- Caldera, Y. (2016). Manejo integral de los residuos sólidos en un núcleo universitario. *Impacto Científico*, 11(2), 22-36. Recuperado de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/impacto/article/view/34755>
- Cantanhede, Á., Monge, G., Sandoval-Alvarado, L., & Caycho-Chumpitaz, C. (2005). Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica*, 1(1). Recuperado de <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/13553>
- Coyago, E., Gonzales, K., Heredia, E., & Sánchez, R. G. (2016). Recomendaciones para la caracterización y cuantificación de residuos sólidos universitarios. Caso de estudio: Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur, Quito. *La Granja*, 23(1), 68-79.
- Delgado, O. B. (2011). Propuesta de un plan de manejo para los residuos generados en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. *Ciencia Nicolaita*, 54, 71-81.
- Management, A. C. D.-34 on W. (2008). *Standard test method for determination of the composition of unprocessed municipal solid waste*. West Conshohocken, USA: ASTM International.

- Alcaldía de Medellín. (2015). *Actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del Municipio de Medellín*. Medellín, Colombia: Alcaldía de Medellín.
- Meza, L. E. C., & Briceño, M. L. (2013). Evaluación del manejo de residuos sólidos en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. *Facultad de Ingeniería*, 22(34), 71-84. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413940773008>
- Montoya-Rodríguez, C., & Martínez, P. (2013). Diagnóstico del manejo actual de residuos sólidos (empaques) en la Universidad El Bosque. *Producción + Limpia*, 8(1), 80-90. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552013000100006&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552013000100006&lng=en&tlng=es)
- Oficina de Gestión Ambiental, U. N. de C. S. M. (2016). *Plan de manejo integrado de residuos*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Quintana, O. C., & Echeverri, S. M. P. (2004). Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la corporación universitaria lasallista. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 15-21. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10567/174>
- Ruiz-Morales, M. (2012). Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28, 93-97.

- Sakurai, K. (2000). *Método sencillo del análisis de residuos sólidos*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, y Organización Panamericana de la Salud.
- Medellín Cómo Vamos. (2018). *Informe de calidad de vida de Medellín, 2018*. Recuperado de <https://www.medellincomovamos.org/informe-de-calidad-de-vida-de-medellin-2018>
- Vargas, O., Alvarado, E., López, C., & Cisneros, V. (2015). Plan de manejo de residuos sólidos generados en la Universidad Tecnológica de Salamanca. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(5), 83-91.
- Vera-Toledo, P., Nájera-Aguilar, H. A., García-Lara, C. M., & Solís-López, M. (1970). Manejo de residuos sólidos no peligrosos en una institución de educación superior. *Espacio I+D: Innovación Más Desarrollo*, 5(12 SE-Artículos). Recuperado de <https://doi.org/10.31644/IMASD.12.2016.a06>