

Análisis de metodologías para la caracterización de residuos sólidos en instituciones de educación superior: revisión sistemática

(Analysis of Methodologies for Characterizing Solid Waste in Higher Education Institutions: Systematic Review)

Diego Fernando López Correa, Mónica Delgado-Yáñez, Eysthin Andrés Medica Saca, Carlos Gabriel Enríquez Pinos
Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador
dflopezcl@uce.edu.ec, msdelgadoy@uce.edu.ec, eamedinasaca1@uce.edu.ec, cgenriquez@uce.edu.ec

Resumen: La gestión eficiente de los residuos sólidos en instituciones de educación superior es un desafío crucial en la búsqueda de prácticas sostenibles y responsables. Por tanto, el objetivo del presente artículo fue analizar las metodologías para la caracterización de residuos sólidos, mediante la revisión sistemática para la elaboración de guías que sirvan de pautas para estudios similares. Se identificó la ausencia de enfoques estandarizados específicos para las instituciones de educación superior. Sin embargo, en su mayoría toman como base lo expuesto por el CEPIS y la ASTM D5231-2, pero aún existen variaciones en el número de días de muestreo y cantidad de muestra. Por otro lado, los autores coinciden en los métodos de validación estadística por medio de Crochan, Anova y análisis de regresión múltiple, convirtiéndose en herramientas adecuadas que permiten asegurar la confiabilidad de los datos obtenidos. Finalmente, se establecieron recomendaciones metodológicas para el caso de otras instituciones de educación superior.

Palabras clave: CEPIS, instituciones de educación superior, metodologías, residuos sólidos, validación estadística.

Abstract: The efficient management of solid waste in higher education institutions is a crucial challenge in the search for sustainable and responsible practices. Therefore, the objective of this article was to analyze methodologies for the characterization of solid waste, through a systematic review for the development of guidelines to serve as guidelines for similar studies. The absence of specific standardized approaches for higher education institutions was identified. However, they are mostly based on what is stated by CEPIS and ASTM D5231-2, but there are still variations in the number of sampling days and sample quantity. On the other hand, the authors agree on the statistical validation methods through Crochan, Anova and multiple regression analysis, becoming appropriate tools that ensure the reliability of the data obtained. Finally, methodological recommendations were established for other higher education institutions.

Keywords: CEPIS, higher education institutions, methodologies, solid waste, statistical validation

1. INTRODUCCIÓN

En las instituciones de educación superior de América Latina se han realizados estudios similares que sirven como punto de partida, como el caso de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) que estimó una producción per cápita de 0,11 kg/hab.día [1], seguido de la

Universidad Autónoma de Baja California con 0,05 kg/hab.día [2], y la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga con 0,023 kg/hab.día [3].

De la misma manera, se han realizado estudios en Ecuador en algunas instituciones de educación superior. Tal es el caso de la sierra ecuatoriana, donde la Escuela Politécnica Nacional estimó una producción per cápita de 0,07 kg/hab.día [4] y en la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito con 0,3 kg/hab.día [5]. Mientras que en la región insular, la Universidad Técnica Estatal de Quevedo con una producción per cápita de 0,0915 kg/hab.día [6].

Por su parte, en la Universidad Central del Ecuador (UCE) se han realizado dos estudios de caracterización de residuos sólidos. El primero data del año 2004, donde se estimó una producción per cápita de 0,1513 kg/hab.día, siendo los residuos orgánicos los más representativos con un 30,4 %, siguiendo los plásticos con un 21,49 %, y por último los residuos de papel con un 19,74 % [7]. El segundo estudio, fue realizado en el año 2017 en la Facultad de Artes, donde se estimó una producción per cápita de 0,066 kg/hab.día [8].

Por otro lado, de acuerdo con el informe de la “Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010” [9], la poblacional del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se sitúa en la categoría de ciudades grandes, presentando promedios regionales de producción per cápita de 1,14 kg/hab.día para los residuos sólidos urbanos, aunque los valores registrados son significativamente inferiores a la media regional, manteniéndose dentro del rango de la media nacional que oscila entre 0,85 kg/hab.día [9].

Una de las ciudades con mayor población es el DMQ [10], en la cual, debido a su gran población y extensión, uno de los principales problemas que se puede evidenciar es su gran producción de residuos sólidos. Según estadísticas de la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS), se producen aproximadamente 2000 t/día de residuos sólidos en la ciudad de Quito, de los cuales menos del 2 % son recuperados antes de su disposición final [11].

En los últimos nueve años se han llevado a cabo dos análisis de caracterización en el DMQ [12]. El primer estudio fue realizado en el 2012, a nivel de centros educativos para los sectores de la América, en el que se estimó una producción per cápita de 0,029 kg/hab.día, siendo los residuos orgánicos de cocina los más representativos con un 24,47 %, siguiendo el papel con un 14,42 %, y los residuos compuestos con un 11,14 % [13]. Mientras que en el estudio realizado en el 2021 por la consultora Asamtech [12], se estimó una producción per cápita de 0,017 kg/hab.día, siendo los residuos orgánicos (alimentos y poda) los más representativos con un 32,4 %, siguiendo los plásticos con un 24,09 %, y por último los residuos de papel y cartón con un 16,52 % [12].

Sin embargo, en todos estos estudios mencionados existe una gran variabilidad de las metodologías empleadas: frecuencia de muestreo, número de muestras, variables analizadas, clasificación y modelos de validación. En consecuencia, el presente artículo tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de las metodologías utilizadas en la caracterización de residuos sólidos en instituciones de educación superior (IES), para la elaboración de guías que sirvan de pautas para estudios similares.

Con los resultados obtenidos se pretende establecer recomendaciones en cuanto a la metodología a emplearse para el caso de instituciones educativas de educación superior. De este modo se puede obtener una caracterización y cuantificación fiable de los residuos sólidos generados en estas zonas; además, con esto se podrán plantear proyectos de reciclaje y recuperación de materiales.

2. METODOLOGÍA

Para obtener información relevante sobre el presente tema, se ha recurrido a diversas bases de datos como ScienceDirect, Dialnet y SciELO, en donde se puede encontrar estudios fiables y aplicables al caso de estudio presentado. Además, se han definido unos criterios de inclusión y exclusión con el fin de establecer una acotación y seleccionar los artículos que presenten una metodología realizable y aplicable al caso de estudio. Los criterios de inclusión y exclusión son los siguientes:

- ¿El estudio se centra en una institución educativa?
- ¿La información es actualizada?
- ¿Días de muestreo menor o igual a 10 días?
- Palabras clave: Residuos sólidos, caracterización, instituciones de educación superior, metodologías, CEPIS, validación estadística.

Se emplearon palabras claves y variables relacionadas con el tema, así como operadores boléanos como: AND y OR: “Residuos sólidos” AND “caracterización”; “Instituciones de educación superior” OR “Universidades”; “Metodología” AND “Caracterización”; “Residuos sólidos universitarios” OR “desechos sólidos universitarios”; “muestreo” AND “número de muestras”; “Guías para la caracterización de residuos sólidos” OR “Manuales de residuos sólidos”, entre otros.

Las fuentes de información primaria utilizadas son trabajos de tesis, artículos con revisión par ciego y libros sobre el tema [14], como fuentes de información secundaria tenemos a aquellos artículos, revistas o libros que analizan, valoran, sintetizan o traducen lo escrito en fuentes primarias [15].

La revisión sistemática del presente trabajo se encuentra basada en la metodología Prisma para revisión sistemática y meta-análisis [16-19], en la Figura 1 se visualiza la misma.

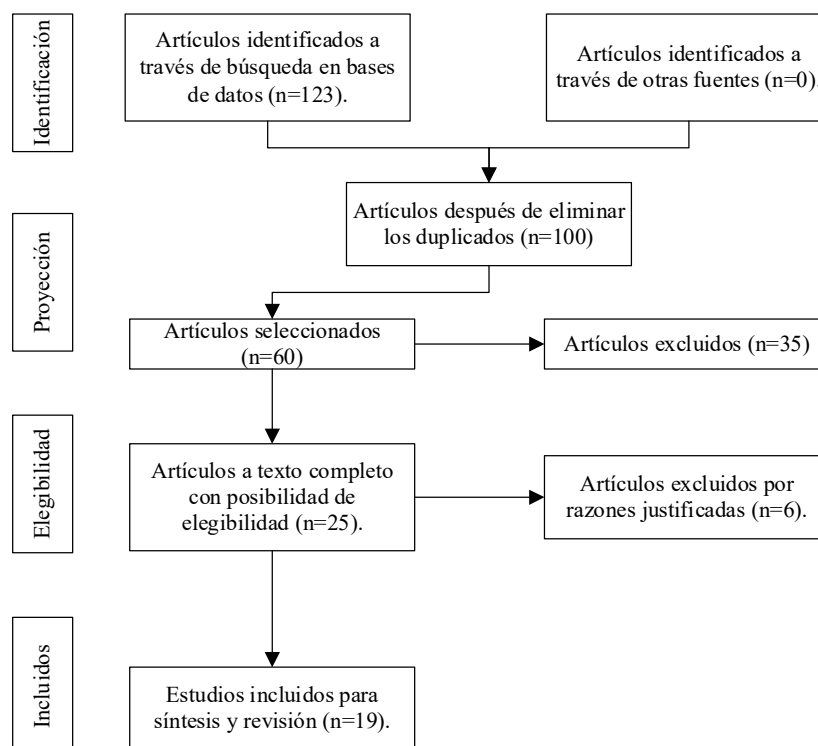


Figura 1. Desarrollo de la metodología Prisma usada.

Después de una primera búsqueda, se identificaron 123 artículos científicos relacionados con el tema tratado. Posteriormente, al verificar duplicados, se descartaron 23 estudios. Seguidamente, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, con lo cual se excluyeron 35 artículos. Con la revisión completa de los 25 estudios restantes, se descartaron 6 por presentar metodologías que no fueron explicadas a detalle. Finalmente, se verificó que 19 artículos están relacionados con la caracterización de los residuos sólidos, los cuales pueden aportar con pautas para las demás instituciones educativas.

Los estudios que fueron incluidos para el proceso de síntesis y revisión fueron sometidos a un proceso minucioso descrito a continuación en la Figura 2.

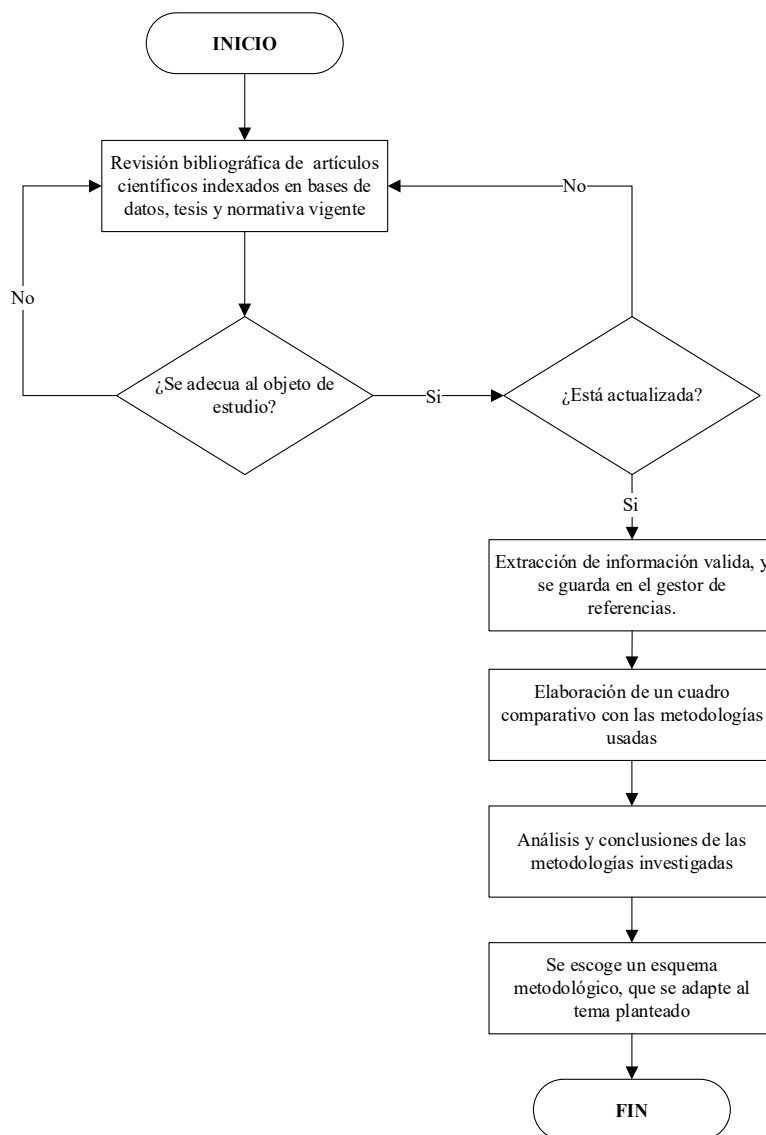


Figura 2. Metodología del trabajo.

En primer lugar, se verificaron que los estudios que fueron elegidos para la revisión y síntesis se adecuen al objeto de estudio, y también que estos se encuentren actualizados. Seguidamente, se continuó con la extracción de información válida y relevante para el estudio, guardándola en un gestor de referencias; en este punto, se descartaron 5 estudios, debido a que algunas variables como tasas de generación y composición física no fueron analizadas en las investigaciones del artículo en cuestión. Luego, se elaboró un cuadro comparativo de las metodologías usadas en cada

uno de los estudios. Finalmente, con base en el análisis realizado, se plantearon pautas metodológicas específicas para instituciones de educación superior.

3. RESULTADOS

Después de una revisión exhaustiva, descrita en la Figura 2, se rescataron 7 artículos científicos relacionados con la caracterización y muestreo de residuos sólidos en zonas residenciales y no residenciales donde se ubican además instituciones de educación superior en el área de influencia directa; y, por otro lado, se obtuvieron 7 estudios relacionados con la caracterización y muestreo en instituciones educativas de nivel superior de manera exclusiva, los cuales aportan con pautas metodológicas de muestreo y caracterización de residuos sólidos.

Es importante destacar que las tasas de generación y la composición de residuos reflejan el comportamiento específico de la fuente de origen, pero no necesariamente representan fielmente las tasas y la composición de toda una ciudad.

Los modelos de gestión propuestos en las interrelaciones entre los elementos funcionales de un sistema de gestión de residuos se pueden observar en el siguiente esquema de la Figura 3.

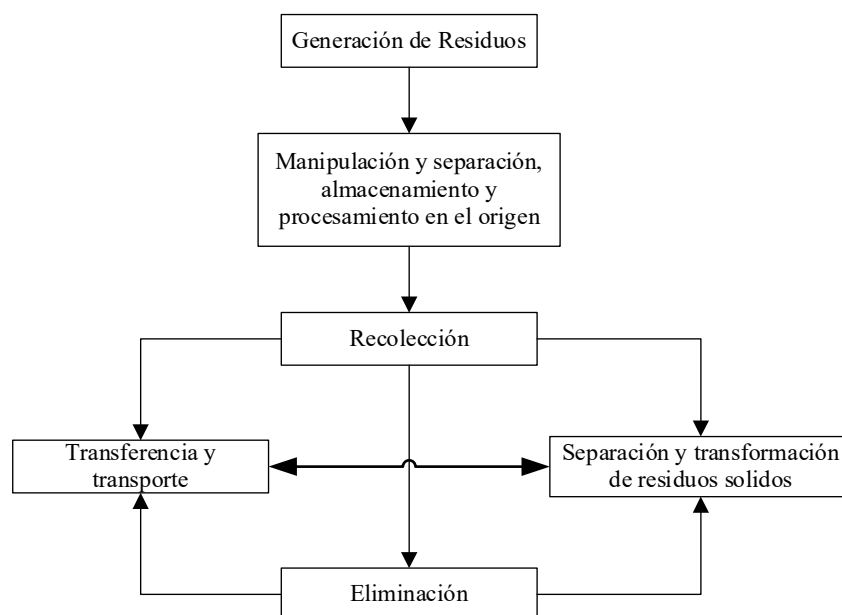


Figura 3. Diagrama simplificado de las interrelaciones entre los elementos funcionales de un sistema de gestión de residuos.

Fuente: Modificado de George Tchobanoglous [16].

En la Tabla 1 se comparan los resultados de las instituciones de educación superior a nivel de Latinoamérica, destacando sus distintas metodologías, frecuencias de muestreo, variables analizadas, tasas de generación de residuos y modelos de validación utilizados. Estos estudios presentan cada uno su enfoque específico y métodos particulares.

Tabla 1. Comparación de metodologías de caracterización de residuos domiciliarios.

Tabla 1. Comparación de metodologías de caracterización de Residuos domiciliarios.								
Estudio	Tipo de fuente	N.º de muestras	Frecuencia de muestreo	Variables	Tasa de generación (kg/persona/día)	N.º de categorías de composición analizados	Modelo de validación utilizado	
Residuos domiciliarios								
1	Parizeu, K., et al [17]	RE	400 (50 viviendas)	Diario/ 8 días	TDG, NSE, CF, M	0,34	12	ANOVA. Análisis de regresión lineal. Prueba t
2	Buenrostro, O., et al [18]	RE y NRE	354 (RE) 411 (NRE)	Diario/ 8 días	TDG, CF,	0,40	51	ANOVA y Prueba C de Cochran
3	Ojeda, S., et al [19]	RE	682 (125 viviendas)	Diario/ 9 días	TDG, CF, NSE, TF	0,782; 1,10 y 1,35	37	ANOVA
4	Qdais, A., et al [20]	RE	840 (40 viviendas)	Diario/ 3 semanas	TDG, CF, NSE, RPV	1,76	6	Distribución de probabilidad. Asimetría y Coeficiente de Curtosis. Regresión lineal
5	Bolaane, B.,et al [21]	RE	893 (47 viviendas)	Diario/ 3 semanas	TDG, CF, NSE, RPV	0,33	7	Distribución de probabilidad. Asimetría y Coeficiente de Curtosis. Análisis de correlación lineal
6	Hristovski, K., et al. [22]	VER	8	Diario / 8 días	TDG, PEC, CF, PES	1,06±0,56	9	Análisis de la desviación estándar
7	Vargas, A., et al [23]	RSD	-	Diario/ 8 días	TDG, CF	0,4	3 categorías y 16 subcategorías	-
Residuos de instituciones de nivel superior								
8	Coyago, E., et al. [5]	RSD	350	5 días	TDG, CF, CQ, PE	0,0205	8 categorías y 47 subcategorías	-
9	Quintero, C., et al. [24]	RSD	954	8 días	TDG	0,132	20 subcategorías	-
10	Ballinas, M., et al [25]	RSD	2026	10 días	TDG	0,06136	-	-
11	Castillo, L., et al [3]	RSD	5922	Diario/ 6 días	TDG, CF	0,025	10 categorías	Análisis de componentes principales (ACP)
12	Veneros, B. et al [26]	RSD	1551	Diario/ 8 días	TDG, CF	0,065	6 subcategorías	Análisis de regresión lineal múltiple
13	Raudales, R., [27]	RS	(169 viviendas)	Diario/ 5 días	TDG, CF, CQ	0,83	12 subcategorías	-
14	Estupiñán, C., et al [6]	RSD	12 UGR	Diario/ 5 días	TDG, CF	0,0915	6 subcategorías	-

Las abreviaciones empleadas en la Tabla 1 son las siguientes: Tipo de fuente: RE: residencial; NRE: no residencial; PS: planta de separación; CDR: camiones de recolección; RSD: residuos sólidos en instituciones educativas; VER: vertederos; UGR: Unidades Generadoras de Residuos

Variables: TDG: tasa de generación; NSE: nivel socioeconómico; M: movilidad; TF: tipo de familia; RPV: relación personas/vivienda; CF: composición física; CQ: composición química; PE: peso específico; PES: peso específico suelto; PEC: peso específico compactado; H: humedad. ANOVA: análisis de varianza.

El análisis de la Tabla 1, muestra una variabilidad considerable en las frecuencias de muestreo, tamaños de muestra y modelos de validación empleados, lo que ilustra la falta de uniformidad en las prácticas de caracterización de residuos en las instituciones de educación superior. Sin embargo, se pueden observar algunas coincidencias en cuanto a la frecuencia de muestreo, las cuales mencionan que de manera general se debe realizar un muestreo durante 8 días, [17], [18], [28], [23], [24], [26]. Por otro lado, otros autores recomiendan 9 días, 3 semanas, 3 semanas de muestreo diario, como se puede evidenciar en [19], [20], [21], respectivamente. También se recomienda que el muestreo sea durante 5 días [5], [27], [6].

En cuanto al número de muestras, hay una gran variabilidad, puesto que los estudios de caracterización se realizaron en diferentes zonas y condiciones, por lo cual se considera propio de cada institución educativa.

La mayoría de los estudios de caracterización emplean técnicas de muestreo estadístico y tienden a procesar los datos bajo la premisa de una distribución normal, a pesar de que los datos no se ajusten a este patrón. El modelo de validación más empleado que se pudo evidenciar en los artículos revisados, es el Análisis de Varianza (ANOVA), el cual es usado en [17], [18] y [19]. Por otro lado, otro modelo ampliamente usado, el análisis de regresión lineal múltiple, como se puede apreciar en [3].

En instituciones de educación superior de América Latina y principalmente en Ecuador, la forma de obtener los resultados es diferente, pero alcanzan valores muy similares dependiendo de la cantidad y tipo de laboratorio, se busca obtener datos de generación específica.

4. PROPUESTAS METODOLÓGICAS PARA INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR

Con base en el análisis de las diferentes metodologías, se pretende plantear algunas recomendaciones en cuanto a la metodología a emplearse para el muestreo y caracterización de los residuos sólidos en instituciones de educación superior.

4.1. Cantidad de muestra

Para la cantidad de muestra, se atienden las especificaciones del “Manual de gestión integrada de residuos sólidos municipales en ciudades de América Latina y el Caribe”, que manifiesta que se requieren de 2 a 3 m³ de desechos recolectados desde distintas zonas del lugar de estudio [9]. Esta decisión se la tomó, puesto que, para el caso de las instituciones educativas, es la más conveniente, ya que cuentan con contenedores internos para el almacenamiento temporal, que en ciertos casos son compartidos por algunas facultades, por ende, el muestreo se volverá más fácil al obtenerlo desde estos contenedores.

4.2. Frecuencia de muestreo

En la Figura 4 se pueden apreciar las diferentes recomendaciones de algunos autores sobre el número de días de muestreo para llevar a cabo una caracterización de los residuos sólidos. Para determinar el número de días de muestreo, se tomaron en cuenta 12 de los 14 estudios analizados. Se determinó una media aritmética de los días de muestreo, dando como resultado un total de 7 días aproximadamente. Es decir, se recomienda que el muestreo sea diario durante una semana.

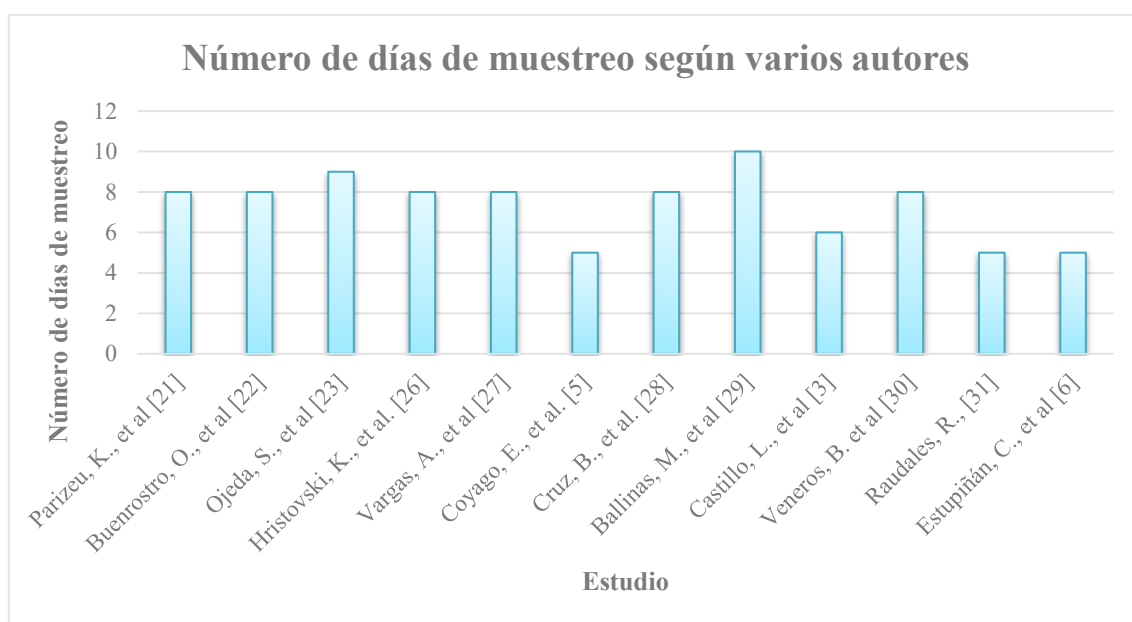


Figura 4. Frecuencias de muestreo según varios autores.

4.3. Variables para la caracterización

Si bien es cierto, en las instituciones de educación superior existe una gran variabilidad en cuanto a los tipos de residuos sólidos producidos, que van desde residuos comunes hasta residuos peligrosos (generados en los laboratorios de manera general). Sin embargo, los residuos peligrosos son gestionados por cada unidad generadora; es decir, cada facultad o laboratorio cuenta y se recomienda gestionar su propio gestor ambiental calificado. Por lo tanto, para la caracterización de los residuos sólidos de la comunidad universitaria, bastará con analizar variables como: la composición física (CF), tasas de generación (TDG) y opcionalmente la composición química (CQ) [24], [25], [3], [27].

4.4. Número de categorías de composición de residuos sólidos

Con base en los estudios analizados, se encontraron varias categorías para el análisis de la composición de los residuos sólidos, pertinentes para el caso de instituciones de educación superior, las cuales se reflejan en la Tabla 2.

Se verifica además que los residuos sólidos orgánicos de fácil biodegradación son en general los que representan el mayor volumen, seguidos de papel, cartón y plástico. Para las últimas categorías, las instituciones de educación superior en su mayoría tienen programas de reciclaje, reutilización y donación.

Para la obtención del promedio por tipo de residuos se tiene la Ecuación 1:

$$\text{Promedio por tipo de residuo} = \frac{\text{Kg cuadrante I} + \text{Kg cuadrante I}}{2} \quad (1)$$

Luego se procede a calcular el porcentaje de cada componente (Ecuación 2):

$$\text{Porcentaje (\%)} = \frac{\text{Kg por tipo de residuo}}{\text{kg promedio de residuos recolectados}} \times 100 \quad (2)$$

Al final, se determina la cantidad de kilogramos por semana en función del tipo de residuo (Ecuación 3):

$$\text{Producción} = (\% \text{ tipo de residuo}) \times (\text{kg total de residuos por semana}) \quad (3)$$

Generación per cápita diaria de residuos (GPC) (Ecuación 4):

$$GPC = \frac{\text{Peso total de residuos (Wt)}}{\text{Número total de personas (Nt)}} \quad (4)$$

Mientras que para determinar la densidad de los residuos sólidos se tienen las Ecuaciones 5 y 6

$$\text{Volumen de la basura (V)} = 0,7854 \times d \times h \quad (5)$$

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso total de residuos (Wt)}}{\text{Volumen de la basura (V)}} \quad (6)$$

Tabla 2. Categorías de composición a ser analizados.

Tipo de residuo		Componente	Descripción
Orgánico de fácil biodegradación		Residuos de alimentos	Pan, huevos, restos de carne, cascara de huevo, cascar de plátano, frutas y verduras entre otros.
		Residuos de jardín	Poda de pasto, hojarasca y ramas.
Inorgánico de difícil biodegradación	Papel	Blanco	Papel bond, hojas de cuaderno.
		Baño	Pañales desechables, papel de baño, toallas sanitarias.
		Cartón	Todas las formas de cartón
		Plástico	Polietileno tereftalato (PETE); Polietileno de alta densidad (HDPE); Cloruro de polivinilo (PVC); Polietileno de baja densidad (LDPE); Polipropileno (PP); Poliestireno (PS) y Otros.
		Madera	Productos de madera, pallets, muebles
		Otros	Textiles, caucho cuero y otros materiales quemables.
		Vidrio	Todos los tipos de vidrio.
		Aluminio	Aluminio, latas de aluminio y láminas de aluminio
		Otros	Roca, arena, cerámica, yeso, metales, cobre latón, entre otros. O aquellos que sean de difícil segregación.
		Residuos peligrosos	Corrosivo, reactivo, tóxico, inflamable e infeccioso como ejemplo; pilas, baterías, jeringas, reactivo químicos, y aquellos que se separan en hospitales laboratorios.

4.5. Validación de resultados

Los estudios emplean modelos de validación estadística como análisis de varianza (ANOVA) la Prueba C de Cochran y Análisis de regresión lineal múltiple.

De manera general, la metodología para la aplicación del análisis de varianza se puede resumir de la siguiente manera [29]:

- a) **Verificar supuestos.** Antes de aplicar el ANOVA, verifica la independencia de las observaciones, la normalidad de los datos dentro de cada grupo y la homogeneidad de varianzas.

- b) **Definir hipótesis.** Establece las hipótesis nula y alternativa. La hipótesis nula generalmente afirma que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos, mientras que la hipótesis alternativa sugiere lo contrario. Es decir:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

$$H_1: \text{No todas las } \mu_j \text{ son iguales}$$

- c) **Aplicar el ANOVA.** Generalmente el análisis de varianza se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen ANOVA.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_{i.} - \bar{x}_{..})^2$	$k - 1$	$CM_{Trat} = \frac{SC_{Trat}}{k - 1}$	$F = \frac{CM_{Trat}}{CM_{Error}}$
Dentro de las muestras	$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$	$N - k$	$CM_{Error} = \frac{SC_{Error}}{N - k}$	
Total	$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$	$N - 1$		

Verificar las hipótesis. Se rechazará H_0 y concluir que hay diferencias en las medias de los tratamientos si:

$$F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k} \quad (7)$$

F_0 que sigue una distribución F con $k - 1$ y $N - k$ grados de libertad.

Comparación de parejas de medias. Posterior a que se haya realizado la prueba de hipótesis, y se haya concluido que hay diferencias entre las medias de los grupos, se puede realizar una comparación de parejas de medias, y determinar en qué medias existen esas diferencias, para lo cual se emplea el Método de Tukey, el cual consiste en comparar las diferencias entre medias muestrales con el valor crítico dado por:

$$T_\alpha = q_\alpha(k, N - k) \sqrt{\frac{CM_E}{n_i}} \quad (8)$$

Donde:

T_α = Valor de Tukey

CM_E = Cuadrado medio del error

n_i = Número de observaciones por tratamientos

k = Número de tratamientos

$N - k$ = Grados de libertad para el error

α = Nivel de significancia

$q_\alpha(k, N - k)$ = Son puntos porcentuales de la distribución del rango estudentizado, que se obtienen de la Tabla 3.

Se declaran significativamente diferentes los pares de medias cuya diferencia muestral en valor absoluto sea mayor que T_α .

5. DISCUSIÓN

Como se indicó previamente, la investigación se llevó a cabo con el propósito de examinar las metodologías empleadas en la caracterización de residuos sólidos en instituciones de educación superior, estableciendo pautas metodológicas tanto para la frecuencia y metodología de muestreo como para el análisis de fuentes generadoras.

Mediante la revisión sistemática, se identificó la ausencia de enfoques estandarizados específicos para las instituciones de educación superior. Los hallazgos corroboran la hipótesis inicial de que existe una escasez de pautas integrales adaptadas a los diversos patrones de generación y composiciones de residuos propios de las instituciones educativas.

La diversidad observada en las metodologías se atribuye a la naturaleza heterogénea de la generación de residuos en diferentes entornos dentro de las instituciones educativas, de los cuales se pueden citar factores como diferentes contextos socioeconómicos, actividades realizadas y sistemas de gestión de residuos, que contribuyen a esta disparidad.

Las limitaciones de este estudio se derivan principalmente de la falta de uniformidad entre las metodologías revisadas, lo que dificulta las comparaciones directas y conclusiones definitivas. Sin embargo, se encontraron similitudes en lo relativo a las frecuencias de muestreo y metodologías estadísticas de análisis de resultados.

Los resultados obtenidos en el presente estudio pueden generalizarse hacia otras instituciones de educación superior, incluso se pueden aplicar a colegios y escuelas que requieran de una caracterización de sus residuos sólidos. El resultado refleja además categorías de composición de residuos sólidos que tienden a ser homogéneos en las instituciones de educación superior.

Los hallazgos subrayan la necesidad crítica de metodologías estandarizadas para la caracterización de residuos específicamente adaptados a las IES. Estas pautas permitirían a las instituciones diseñar estrategias de gestión de residuos dirigidas que estén alineadas con sus composiciones únicas de residuos, fomentando en última instancia iniciativas de sostenibilidad.

En futuras aplicaciones prácticas de los resultados del presente estudio, se recomienda tener en cuenta el nivel socioeconómico, estilo de vida, cultura y actividades destacadas de la población en cuestión, para de esta manera tener certeza de la aplicabilidad de las metodologías recomendadas.

6. CONCLUSIONES

La gestión eficiente de los residuos sólidos en instituciones de educación superior (IES) representa un desafío crucial en la búsqueda de prácticas sostenibles y responsables. La presente revisión bibliográfica sobre las metodologías para la caracterización de residuos sólidos ha revelado una disparidad significativa en enfoques y prácticas utilizadas para tal fin. Los estudios analizados resaltan la variabilidad en frecuencias de muestreo, tamaños de muestra y modelos de validación empleados. Esta diversidad refleja la complejidad inherente a la generación y composición de residuos en entornos educativos.

Con los datos analizados de los diferentes estudios revisados, se realizaron las siguientes recomendaciones para una metodología de muestreo y caracterización de los residuos sólidos en instituciones de educación superior: La frecuencia mínima de muestreo debe ser de una semana, tomando una muestra diaria.

La cantidad de muestra a recolectar al final de la semana es mínima de 2 m³ desde los distintos contenedores internos de almacenamiento temporal, siendo esto la muestra representativa. Es importante que el método de selección sea aleatorio en el sitio testado, evitando sesgos.

Se requiere modelos de validación para evaluar la precisión, confiabilidad y representatividad de los datos obtenidos en el proceso de muestreo y caracterización de residuos sólidos. Estos modelos buscan verificar si las muestras recopiladas son representativas de la población total y si los datos son estadísticamente significativos. Se recomienda análisis de varianza (ANOVA), pruebas estadísticas como la prueba C de Cochran para evaluar la homogeneidad de las muestras, regresión lineal para comprender las relaciones entre variables, y el análisis de distribuciones de probabilidad, así como la asimetría y la curtosis, que ayudan a comprender la forma y dispersión de los datos.

Las variables que se deben analizar son las características físicas, tasas de generación y opcionalmente la composición química. Finalmente, la clasificación se la debe realizar siguiendo las especificaciones de la Tabla 2. De esta manera, al comprender la cantidad y composición de los residuos generados, se pueden implementar medidas para reducir, reciclar y gestionar de manera más efectiva los desechos, fomentando así prácticas más sostenibles.

REFERENCIAS

- [1] M. Ruiz Morales, "Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México," *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 28, no. 1, pp. 93-97, nov. 2012. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/rQ4jMc>
- [2] C. A. De Vega, S. O. Benítez, and M. E. R. Barreto, "Solid waste characterization and recycling potential for a university campus," *Waste management*, vol. 28, pp. S21-S26, 2008. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.03.022>
- [3] L. E. Castillo Meza y M. Luzardo Briceño, "Evaluación del manejo de residuos sólidos en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga," *Revista facultad de ingeniería*, vol. 22, no. 34, pp. 71-84, jun. 2013. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/QeUGs7>
- [4] D. M. Rodríguez Tipán y D. V. Simbaña Collaguazo, "Gestión integral de residuos sólidos universitarios para la Comunidad Politécnica del Campus J. Rubén Orellana R," QUITO/EPN/2010, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/JqBNb5>
- [5] E. Coyago, K. Gonzales, E. Heredia, y R. G. Sánchez, "Recomendaciones para la caracterización y cuantificación de residuos sólidos universitarios. caso de estudio: Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur, Quito," *La Granja*, vol. 23, no. 1, pp. 68-79, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/uhrBNW>
- [6] C. E. Estupiñán Velíz, B. A. Burgos Carpio, D. E. Carreño Tapia y C. A. Nieto Cañarte, "Caracterización de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos en la universidad técnica estatal de Quevedo," *Polo del Conocimiento*, vol. 7, no. 11, pp. 1435-1451, nov. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/Bt3Pmh>
- [7] J. Fraga, "Manejo de Residuos Sólidos en el Campus Universitario," Disponible en: Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad Central del Ecuador, 2004.
- [8] R. J. Pérez Segovia, "Diseño del sistema de gestión de residuos sólidos de la Facultad de Artes de la Universidad Central del Ecuador", Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador, Ecuador, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/3RXVyB>
- [9] J. H. P. Monteiro, *Manual de gestión integrada de residuos sólidos municipales en ciudades de América Latina y el Caribe*, 1ra ed. 2006. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/VckBw8>

- [10] CENSO ECUADOR 2022, "Instituto Nacional de Estadística y Censos", Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.censoecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2024/05/Presentacion_Nacional_2da_entrega.pdf
- [11] X. Oña Serrano, O. Viteri Salazar, J. J. C. Benalcázar, y X. B. Guerra, "Caracterización de los residuos sólidos urbanos y desperdicios de alimentos del Distrito Metropolitano de Quito," *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, vol. 5, pp. e230-e230, jul. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/i2uYD2>
- [12] "Plan de gestión integral municipal de residuos y desechos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios del Distrito Metropolitano de Quito (2022-2032)", Municipio de Quito, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/pMdjsR>
- [13] M. Castillo, "Consultoría para la realización de un estudio de caracterización de residuos sólidos urbanos domésticos y asimilables a domésticos para el Distrito Metropolitano de Quito", Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador, Informe Ejecutivo, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/P1lvKf>
- [14] E. Gómez-Luna, D. Fernando-Navas, G. Aponte-Mayor, y L. A. Betancourt-Buitrago, "Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización", *Dyna*, vol. 81, no. 184, pp. 158-163, 2014, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>
- [15] J. González de Dios, "Búsqueda de información en Pediatría basada en la evidencia (II): fuentes de información secundarias y primarias", *Revista Española de Pediatría*, vol. 59, no. 3, pp. 259-273, 2003. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10234/188685>
- [16] G. Tchobanoglous, *Gestión integral de residuos sólidos*, Madrid, McGraw-Hill, 1998.
- [17] K. Parizeau, V. Maclaren, and L. Chanthy, "Waste characterization as an element of waste management planning: Lessons learned from a study in Siem Reap, Cambodia," *Resources, conservation and recycling*, vol. 49, no. 2, pp. 110-128, dec. 2006, [Online] Available: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.03.006>
- [18] O. Buenrostro Delgado y I. Israde, "La gestión de los residuos sólidos municipales en la cuenca del lago de Cuitzeo, México", *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 19, no. 4, pp. 161-169, nov. 2003. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/370/37019401.pdf>
- [19] S. Ojeda Benítez, C. Armijo de Vega, and M. Y. Marquez Montenegro, "Household solid waste characterization by family socioeconomic profile as unit of analysis," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 52, no. 7, pp. 992-999, may. 2008, [Online] Available: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.03.004>
- [20] H. A. Qdais, M. Hamoda and J. Newham, "Analysis of residential solid waste at generation sites," *Waste management & research*, vol. 15, no. 4, pp. 395-406, aug. 1997, [Online] Available: <https://doi.org/10.1006/wmre.1996.0095>
- [21] B. Bolaane and M. Ali, "Sampling household waste at source: lessons learnt in Gaborone," *Waste management & research*, vol. 22, no. 3, pp. 142-148, 2004, [Online] Available: <https://doi.org/10.1177/0734242X04044970>
- [22] K. Hristovski, L. Olson, N. Hild, D. Peterson and S. Burge, "The municipal solid waste system and solid waste characterization at the municipality of Veles, Macedonia," *Waste Management*, vol. 27, no. 11, pp. 1680-1689, 2007. [Online] Available: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.09.003>

- [23] A. Vargas Ayala, E. Tucto Cueva, D. M. Luna, O. R. Chávez y M. Nazario Ramirez, "Caracterización de residuos sólidos universitarios y estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en dos alternativas de gestión," *South Sustainability*, vol. 3, no. 2. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.21142/SS-0302-2022-e059>
- [24] C. Quintero, M. Teutli, M. González, A. Ruiz, and G. Jiménez, "Manejo de residuos sólidos en instituciones educativas", Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/7kmuap>
- [25] M. L. Ballinas Aquino and D. A. Flores Posada, "Manejo de residuos sólidos en el ámbito escolar," Chiapas, México, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/262-Mexico-oral.pdf>
- [26] B. Veneros, P. Amaya, Y. Chuan y C. Manchay, "Caracterización y oportunidades de mejora de los residuos sólidos en una institución educativa. La Esperanza (Trujillo-Perú), 2019", *PURIQ, inPress*, vol. 2, no. 3, pp. 328-343. dic. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://shs.hal.science/halshs-03093525/>
- [27] R. J. Raudales Osorto, "CARACTERIZACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS DEL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA," *Agua, Saneamiento & Ambiente*, vol. 8, no. 1, pp. 29-32, nov. 2013. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.36829/08ASA.v8i1.1481>
- [28] J. P. Parfitt and R. Flowerdew, "Methodological problems in the generation of household waste statistics: an analysis of the United Kingdom's National Household Waste Analysis Programme," *Applied Geography*, vol. 17, no. 3, pp. 231-244, jul. 1997. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(96\)00031-8](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(96)00031-8)
- [29] L. St and S. Wold, "Analysis of variance (ANOVA)," *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, vol. 6, no. 4, pp. 259-272, nov. 1989. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(89\)80095-4](https://doi.org/10.1016/0169-7439(89)80095-4)

