

Caracterización de residuos sólidos domiciliarios, compostaje y reciclaje durante la pandemia de *COVID-19*

Household solid waste management, composting and recycling during the *COVID-19* pandemic

Eriann Español¹, Sophia Pitti¹, Adrian Acosta¹, Viccelda Domínguez de Franco^{2*}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Víctor Levi Sasso, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

² Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Campus Víctor Levi Sasso, Departamento de Hidráulica, Sanitaria y Ciencias Ambientales, Panamá

Fecha de recepción: 9 de febrero de 2022. **Fecha de aceptación:** 27 de mayo de 2022.

***Autor de correspondencia:** viccelda.dominguez@utp.ac.pa

Resumen. El éxito en la gestión de los residuos sólidos se fundamenta en conocer las características de su generación. En el año 2020, se presentó el fenómeno de la pandemia *COVID-19* y hasta el momento no se han encontrado evidencias de estudios de caracterización de residuos sólidos domiciliarios (RSD) en Panamá. Los objetivos de esta investigación son realizar una caracterización de residuos sólidos a pequeña escala, para entender cuánto cambia la producción per cápita de basura en tiempos de pandemia. También, elaborar dos tipos de abono orgánico que mejoren los huertos caseros y artículos reciclados que sirvan para apoyar a la economía familiar. La metodología usada fue el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos. Del mismo modo, se llevó a cabo la fabricación de abonos, que mejoraron el rendimiento de algunos cultivos, y materiales reciclables que se pueden utilizar en el hogar y para la venta. Se obtuvo el valor preliminar de PPC de 0.667 kg/hab/día. Dicho valor es 0.7% mayor a la cifra presentada en el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017-2027 realizado por INECO para Panamá. Este estudio muestra un modelo metodológico sencillo de aplicar a nivel domiciliario. Se recomienda continuar este estudio con una muestra de viviendas con diferentes fuentes de ingreso.

Palabras clave. Abono orgánico, manejo de desperdicios sólidos, compostaje, reciclaje, residuos sólidos.

Abstract. The success in the management of solid waste is based on knowing the characteristics of its generation. In the year 2020, the phenomenon of the *COVID-19* pandemic occurred and so far, no studies have been found on the characterization of domestic solid waste in Panama. The objectives of this research are to carry out a characterization of solid waste on a small scale, to understand how much the per capita production of garbage changes in times of pandemic. Also, to develop two types of compost that will improve home gardens and recycled products that will support the family economy. The methodology used was the analysis of the physical, chemical, and biological properties of solid waste. Similarly, was carried out the production of compost, which improved the yield of some crops, and recyclable materials that can be used at home and for sale. A preliminary PPC value of 0.667 kg/hab/day was obtained. This value is 0.7% higher than the figure presented in the National Integrated Waste Management Plan 2017-2027 conducted by INECO for Panama. This study shows a simple methodological model to apply at the household level. It is recommended to continue this study with a sample of households with different sources of income.

Keywords. Organic fertilizer, solid waste management, composting, recycling, solid waste.

1. Introducción

Los estudios de generación de residuos sólidos son el indicador más importante para dimensionar la escala que deberán tener los distintos servicios del manejo de residuos y prever las dificultades que se encontrarán en los procesos. [1] [2] Al llegar a la sociedad moderna, la visualización global de

la gestión de los residuos sólidos evoluciona a tener como objetivo primordial la protección del medio ambiente. Se crean sistemas para tratamiento y reutilización de las aguas residuales, se establecen centros de reciclaje para los residuos sólidos domiciliarios, se incorpora la retirada selectiva de

materiales tóxicos (pilas, aceites, entre otros) y se elaboran leyes y políticas de protección ambiental para aplicarlas en todos los campos de la actividad económica. [3]

En el caso de América Latina y El Caribe (ALC), ha prevalecido el manejo de los residuos bajo el esquema de “recolección y disposición final” dejando rezagados el aprovechamiento, reciclaje y tratamiento de los residuos, así como la disposición final sanitaria y ambientalmente adecuada. [3]

Aproximadamente un 53% de la población de ALC recibe el servicio de recolección entre dos (2) y cinco (5) veces por semana, mientras que el 45.2% tiene una frecuencia de recolección diaria. El 1.8% recibe el servicio de forma semanal. La recolección selectiva aún es baja. No obstante, hay casos como Brasil, donde el 62% de los municipios implementa programas de recolección selectiva de RSU. [1]

En el 2010, la Organización Panamericana de la Salud y el Banco Interamericano de Desarrollo publicaron el Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe. La cifra de generación de RSD en Panamá fue de 0.55 kg/hab/día, en Costa Rica 0.63 kg/hab/día y en Colombia 0.54 kg/hab/día. Estas tasas de generación calculadas guardan relación directa con indicadores de actividad, tamaño poblacional y desarrollo de los distintos países. [1]

Desde el mes de marzo que inició el estado de emergencia por la *COVID-19*, la Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario de Panamá en coordinación con las 26 Juntas Comunales del distrito de Panamá, han recogido más de 4 mil toneladas de desechos y enseres hasta el 3 de octubre de 2020. [4]

Una de las carencias del actual sistema de gestión de residuos en Panamá es la inexistencia de un sistema que permita conocer la cantidad de residuos que se generan en cada uno de los emplazamientos de vertido, dado que no existen básculas que registren los pesos de los vehículos a las entradas a estos vertederos, salvo en tres (3) de los 63 emplazamientos inventariados que son: relleno sanitario de Cerro Patacón, y vertederos de La Chorrera y Monte Esperanza de Colón [5].

La pandemia de *COVID-19* es un claro recordatorio de la necesidad de cooperación y solidaridad mundial, de fortalecer los esfuerzos para no dejar a nadie atrás y forjar las vías de transformación necesarias para crear un mundo más habitable. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son clave para una mejor reconstrucción durante la recuperación después de la pandemia [6]. Con este estudio se contribuye a diversos ODS como son Hambre cero, Ciudades y comunidades sostenibles, Producción y consumo responsables y Salud y bienestar, porque al fabricar un compost de diferentes materiales de origen orgánico se reduce la generación de residuos, aumenta

la vida útil de los rellenos sanitarios, mejora la nutrición al emplearlo como sustituto parcial o total de fertilizantes químicos y promueve la agricultura sostenible porque controla la erosión y recupera los suelos [7].

El mundo entero enfrenta el desafío de reconocer, oportunamente, que una economía y una sociedad próspera no pueden concebirse sobre una base de pobreza y degradación ambiental. En este sentido, alentar los programas de reciclaje o la adquisición de productos reciclados contribuye de manera significativa en los cambios que se requieren para disminuir la presión hacia el ambiente y estimular nuevas formas de producción [8].

Los objetivos de la investigación son los siguientes:

- Realizar una caracterización básica de residuos sólidos a pequeña escala para entender cuánto cambia la producción per cápita de basura en tiempos de pandemia de *COVID-19*.
- Elaborar dos tipos de abono orgánico que mejoren los huertos caseros.
- Proponer la elaboración de productos reciclados con plástico, latas y vidrio como apoyo a la economía familiar.

La investigación se enfoca principalmente en conocer la cantidad de residuos sólidos que puede generarse en una residencia durante la pandemia de *COVID-19*, ya que no se han encontrado estudios sobre caracterización que evalúen los efectos de una pandemia. Por lo tanto, este estudio encuentra nuevos resultados preliminares. También, se quiere demostrar que gran parte de los residuos generados en casa pueden ser aprovechados para el reciclaje y emplearse en un compost o abono orgánico, y así disminuir la cantidad de desechos que llegan a los vertederos y causan un aumento de la contaminación ambiental.

2. Materiales y métodos

En la figura 1 se presenta el modelo metodológico de la investigación.

2.1 Caracterización de los residuos sólidos

La caracterización fue hecha a base de residuos sólidos domésticos, debido a la situación que se vive actualmente en Panamá por la *COVID-19*. Se realizó durante el mes de junio de 2020 de acuerdo con los siguientes pasos:

- **Consecución del equipo necesario y selección del área del pesaje**

Se utilizó una cinta métrica, una balanza con capacidad de 130 kg y un contenedor plástico de pintura con un volumen de 20.6 litros. Además, se usó la vestimenta adecuada: camisa de mangas largas, jeans, botas, mascarilla y guantes.

El área seleccionada para realizar el pesaje fue un piso plano y techado para poder mantener la balanza horizontal, de manera que los pesos no estuvieran alterados, protegido de factores que pudieran afectar la experiencia.

• **Recolección**

Los residuos más abundantes durante la recolección fueron: residuos de comida, papel y plásticos. También se obtuvo residuos como latas, vidrio y cartón, pero no se consideraron en los cálculos, ya que sus pesos eran mínimos y no generaron cambios en el pesaje.

• **Pesaje y medición de altura**

Para la realización del pesaje, primeramente, se tomó el peso del estudiante con el tanque vacío, y luego se procedió a pesar el tanque con los residuos obtenidos durante el día.

Posteriormente, se distribuyó la muestra de residuos sobre una bolsa plástica negra situada en el suelo. Se mezclaron nuevamente los residuos para depositarlos en el tanque y así golpearlo tres veces contra el piso para nivelar la muestra diaria. Finalmente, se procedió a medir la altura útil con la cinta métrica como se muestra en la figura 2.



Figura 2. A) Medición de la altura de los residuos. B) y C) Pesaje con los residuos.

2.2 Compostaje

Para el proyecto se decidió realizar un compost básico en una botella plástica sembrada en una maceta con tierra, con el fin de obtener resultados en 30 días. Los materiales empleados fueron: una botella plástica de 2.5 litros, tierra, agua, pote con tierra, presentados en la figura 3. Se utilizaron residuos verdes como: césped recién cortado y residuos orgánicos (café, cascaras de frutas y cáscaras de huevo) y residuos marrones (hojas secas y ramas). Con el fin de permitir la ventilación, se abrieron múltiples agujeros en la botella, tanto en la tapa como en la parte baja. Con la botella invertida, se distribuyeron en capas los distintos residuos: tierra, materia orgánica triturada en trozos gruesos y finos para acelerar el proceso de descomposición, hojas secas y nuevamente tierra. Se realizó hasta cierto nivel, este orden de capas, procurando que la última capa fuera tierra para evitar malos olores y alejar los insectos. La botella “se plantó” en la maceta con tierra y se cerró con la tapa, como se observa en la figura 3.

Se mantuvo bajo techo, al aire libre. Se posicionó de tal manera que el sol no le diera directamente. En caso de lluvia, se protegía para evitar que el agua de lluvia no estropeará la composta. El tipo de tierra empleada fue negra, por naturaleza esta clase de tierra es húmeda, por tanto, no fue necesario refrescar constantemente la composta.



Figura 1. Modelo metodológico de la gestión domiciliar de residuos sólidos.



Figura 3. Elaboración del compostaje dentro de una botella plástica.

2.3 Abono orgánico a base de hojas secas

El grupo realizó un abono orgánico aprovechando las hojas secas y agua de lluvia. Primero, se seleccionaron los tipos de hojas a emplear. Luego se recolectó agua de lluvia, ya que no está tratada como el agua de grifo. Posteriormente, se llenó la mitad del recipiente con hojas secas, como se aprecia en la figura 4, para luego verter el agua de tal manera que cubriera las hojas. Se dejó reposando en un lugar donde no estuviese expuesto al sol y se tapó el recipiente. El contenido del balde se removió una vez al día con un palo de madera. Después de la maceración por siete días, se coló el contenido para así obtener dos productos aprovechables.



Figura 4. Elaboración del abono orgánico con hojas secas.

2.4 Elaboración de artículos reciclados

Los materiales empleados para crear los floreros, germinadores, organizadores y portavelas fueron: envases de plástico, frascos de vidrio, cartón de huevo y latas de aluminio.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de los residuos sólidos

3.1.1 Propiedades físicas

En la tabla 1 se presentan los pesos totales y promedios de los componentes. Se obtuvo que el peso mayor fue el de los residuos de comida, seguido el del plástico y por último el del papel.

Tabla 1. Peso de los residuos sólidos

Día	Fecha	Peso total de los RSD (kg)	Peso de residuos de comida (kg)	Peso de papel (kg)	Peso del plástico (kg)
2	02/06/2020	1	0.50	0.00	0.50
3	03/06/2020	2	1.00	0.50	0.50
4	04/06/2020	4	1.00	1.00	2.00
5	05/06/2020	2	1.00	0.50	0.50
6	06/06/2020	1	0.50	0.00	0.50
7	07/06/2020	2	1.00	0.00	1.00
8	08/06/2020	2	1.00	0.50	0.50
TOTAL		14	6.00	2.50	5.50
PROMEDIO		2	0.85	0.35	0.78

Se promedió la densidad de los residuos, descartando los valores del primer día. Se obtuvo el siguiente resultado $D_{RSD} \text{ Promedio} = 341.50 \text{ kg/m}^3$.

Para calcular la producción per cápita (PPC), se realizaron los cálculos de manera diaria, para luego promediar, eliminando el primer día. El resultado promedio preliminar de PPC fue de 0.667 kg/hab/día. Para tener una perspectiva, la PPC en América Latina es de 0.87 kg/hab/día mientras que a nivel mundial es de 0.74 kg/hab/día [9].

Posteriormente se calculó el porcentaje de composición de los residuos; obteniendo los siguientes valores: 42.86% de residuos de comida, 17.86% de papel y 39.28% de plástico. En algunas mediciones el peso del papel era tan pequeño que la balanza no lo registraba.

En la determinación del peso seco (PS) se obtuvieron como resultado promedio los siguientes datos: 0.25 kg de residuos de comida, 0.33 kg de papel y 0.77 kg de plástico.

Se obtuvo que el contenido de humedad de la muestra es de 31.85%. El resultado puede variar si se calcula el contenido de humedad en laboratorio, ya que en este estudio se utilizaron los valores típicos de porcentaje de humedad obtenidos del libro de texto Gestión Integral de Residuos Sólidos.

3.1.2 Propiedades químicas

Fue necesario el peso seco de cada componente y los valores porcentuales típicos del carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y cenizas para poder calcular la composición por elemento. En la figura 6 se presentan los pesos de los elementos.

Componentes	Composición (kg)							
	PH (kg)	PS (kg)	C	H	O	N	S	Cenizas
Residuos de Comida	0.85714	0.25714	0.12343	0.01646	0.09669	0.00669	0.00103	0.01286
Papel	0.35714	0.33571	0.14604	0.02014	0.14771	0.00101	0.00067	0.02014
Plástico	0.78571	0.77000	0.46200	0.05544	0.17556	0	0	0.07700
TOTAL	2	1.363	0.73146	0.09204	0.41996	0.00769	0.00170	0.11000

Figura 6. Composición por elemento. PH: Peso Húmedo, PS: Peso Seco

Con respecto a la composición molar de los elementos, despreciando las cenizas, se obtuvo que el carbono, hidrógeno y oxígeno mostraron valores más altos con relación al nitrógeno y al azufre. Una vez obtenida la composición molar de cada elemento se calculó la relación mol con base a nitrógeno = 1 mediante la fórmula (1) y la relación mol con base en azufre = 1 usando la fórmula (2).

$$C_{111}H_{166}O_{48}N \quad (1)$$

$$C_{1149}H_{1719}O_{495}N_{10}S \quad (2)$$

Posteriormente, se determinó el contenido energético de los componentes a partir de valores típicos presentados en el libro de texto *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. La energía total de los residuos fue de 8492.14 kcal, como se aprecia en la tabla 2. El contenido energético de la muestra de residuos fue de 4246.07 kcal/kg.

Tabla 2. Contenido energético de los residuos sólidos

Componentes	Peso de RS (kg)	* Energía (Típico) (kcal/kg)	Energía total (kcal)
Residuos de comida	0.85714	1111	952.28571
Papel	0.35714	4000	1428.57143
Plástico	0.78571	7778	6111.28571
TOTAL	2		8492.14

*Valores típicos de rechazos inertes y contenido energético de residuos sólidos domésticos de la tabla 4.5 del libro de texto *Gestión Integral de Residuos Sólidos* [10].

3.1.3 Propiedades biológicas

La fracción biodegradable (BF) se calculó mediante la ecuación 1. Los valores de 0.83 y 0.028 son constantes empíricas y LC es el contenido de lignina de los sólidos volátiles expresado como un porcentaje. El resultado tanto para los residuos de comida como para el papel coincidió en un valor igual a 0.81 ya que ambos componentes tienen un contenido de lignina de 0.40. En cambio, el plástico no contiene lignina porque se trata de un polímero derivado del petróleo.

$$BF = 0.83 - 0.028LC \quad (1)$$

3.2 Compostaje

Cada tres días, se revisó el estado del compost. Si se encontraba seco, se vertía un poco de agua procurando no saturar el compostaje. Cada noche, el compost era trasladado a una zona cerrada para evitar que la humedad o la lluvia lo afectara. Hasta el día 14 de julio de 2020 el compost no presentó ningún olor extraño.

El compost fue extraído de la botella el 15 de julio de 2020. Este abono presentó una textura y apariencia similar a la tierra, un color café oscuro y sin olores. Estos eran los resultados esperados, como se aprecia en la figura 7.



Figura 7. Resultado del compost después de 37 días.

3.3 Abono orgánico

Al finalizar los siete días del proceso, se obtuvieron dos productos. El primero fue un líquido color marrón claro, como se aprecia en la figura 8. Este poseía todos los nutrientes que las hojas liberaron durante la semana. Posteriormente, se regaron las plantas del jardín con el líquido colado para que estas se enriquecieran con los nutrientes.

Los restos de hojas constituyeron el otro producto. Estas ya estaban en un proceso de descomposición y se añadieron a una pila de compost debido a su alto aporte de materia orgánica y por la capacidad de acelerar el proceso de compostaje.



Figura 8. Productos del abono orgánico a base de hojas secas.

3.4 El arte de reciclar

En la figura 9 se presentan los productos hechos con residuos inorgánicos como: plástico, vidrio y latas de aluminio. En el reciclaje, es posible liberar toda la creatividad. De ese modo, los objetos adquieren un toque personal.



Figura 9. Artículos elaborados con residuos inorgánicos.

3.4.1 Proyección de reciclaje

Los precios de compra de diversos materiales reciclables han sufrido fluctuaciones, ya que la mayoría de los sectores comerciales e industriales del país están paralizados por la pandemia. Se proyectó la ganancia mensual y anual, en la figura 10, con base a los precios actuales de dos empresas

panameñas de reciclaje. Se utilizaron los pesos del papel y el plástico, obtenidos en la caracterización. Al comparar ambos resultados anuales, se estableció que es más conveniente venderle a RECIMETAL S.A, ya que ofrecen mejores precios al mercado.

Material	Peso semanal (lb)	Peso mensual (lb)	Peso anual (lb)	Ganancia con RECIMETAL S. A		Ganancia con GESVIL RECYCLING	
				Mensual (\$)	Anual (\$)	Mensual (\$)	Anual (\$)
Plástico	12.13	48.52	582.24	0.97	11.64	1.46	17.47
Papel blanco	5.51	22.04	264.48	1.32	15.87	0.44	5.29
GANANCIA TOTAL				2.29\$	27.51\$	1.90\$	22.76\$

Figura 10. Ganancias con la venta de materiales a las empresas panameñas.

4. Conclusiones

El proceso de caracterización de residuos sólidos domiciliarios permitió identificar la cantidad y composición física, química y biológica de los residuos sólidos generados en la residencia. Se obtuvo el valor preliminar de PPC de 0.667 kg/hab/día. Dicho valor es 0.7% mayor a la cifra presentada en el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017-2027 realizado por INECO para Panamá. El valor obtenido es una muestra de un domicilio urbano durante la pandemia de COVID-19, ya que al estar más tiempo en el hogar se tiende a consumir más. El aumento del consumo puede deberse a factores como la conservación de los ingresos familiares o el surgimiento de emprendimientos en el hogar como nueva fuente de ingreso.

La fabricación de un compost en 30 días a partir de los residuos orgánicos generados en el hogar demostró que es un método fácil para nutrir los jardines o huertos y ayudar a disminuir la cantidad de residuos que llegan a los vertederos del país. Del mismo modo, el aprovechamiento de las hojas secas como fertilizante natural evidenció que en un periodo de siete días se obtiene un producto útil para el cuidado de las plantas.

La separación domiciliar de residuos inorgánicos (papel, vidrio, plástico y cartón) puede convertirse en un trabajo tedioso para las personas. Sin embargo, la proyección de ventas de residuos arrojó un resultado positivo, es decir que sí es posible obtener ganancias cuantiosas dependiendo de la cantidad del material recolectado con destino a las empresas recicladoras.

Después de culminar la caracterización, lo aconsejable es implementar los residuos de comida en un método de compostaje, ya que así se puede aprovechar el cien por ciento del material. También, se sugiere colocar tanques para las hojas

secas que se acumulan durante la época seca en los parques de las ciudades con el propósito de abonar, sin químicos, la vegetación que rodea el lugar.

Actualmente, el reciclaje brinda beneficios ambientales y económicos. Por ejemplo, ahorro de materias primas, energía, agua y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Se recomienda continuar este estudio con una muestra de viviendas con diferentes fuentes de ingresos y realizar un análisis económico sobre las posibles ganancias de la venta de productos reciclables.

AGRADECIMIENTOS

A las empresas RECIMETAL S.A. y GESVIL RECYCLING por brindarnos información sobre los precios y la lista de los materiales que compran.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] P. Tello E., E. Martínez A. y D. Daza (2010, enero 1), «Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en ALC 2010». [Online]. Available: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Informe-de-la-evaluaci%C3%B3n-regional-del-manejo-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-2010.pdf>.
- [2] S. Kaza, L. C. Yao y P. Bhada-Tata (2018, septiembre 20), «Los desechos 2.0: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos». [Online]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/news/infographic/2018/09/20/what-a-waste-20-a-global-snapshot-of-solid-waste-management-to-2050>.
- [3] A. I. d. I. S. y. A.-A. y C. I. d. I. p. e. D.-I., «Directrices para la gestión integrada y sostenible de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe,» (2006, enero 22). [Online]. Available: <https://www.yumpu.com/es/document/read/39592862/directric-es-para-la-gestion-integrada-y-sostenible-de-residuos-aidis>
- [4] AAUD, «Más de 4 mil toneladas de Enseres ha recogido la Autoridad de Aseo,» (2020, octubre 3). [Online]. Available: <http://www.aaud.gob.pa/index.asp?sec=Noticias/2020&id=10-03-2020>.
- [5] INECO (2017, enero 27). “Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017-2027.” [Online]. Available: <https://aaud.gob.pa/index.asp?id=anexos>
- [6] Organización de las Naciones Unidas (2020). “Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.” [Online]. Available: https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish.pdf
- [7] Delegación de Medio Ambiente y Servicios a la Ciudad (2018, marzo 20). “Manual básico para hacer compost” [Online]. Available: <http://www.resol.com.br/cartilhas/252648184-manual-de-compostaje.pdf>
- [8] L. Castro de Doens. (2007) “Guía de Reciclaje de Residuos Sólidos Domiciliarios.” [Online]. Available: <https://aquadocs.org/handle/1834/8066v>
- [9] B. N. Mundo (2018, octubre 9). “Los 10 países que más y menos basura generan en América Latina.” [Online]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-45755145>.
- [10] G. Tchobanoglous, H. Theisen y S. Vigil. *Gestión integral de residuos sólidos*. 1era ed. McGraw-Hill, 1994.