

COMPOSTAJE ACELERADO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS

María José Amaya-Hernández^{1*}, Susana Elisa Mendoza-Elvira² y Alejandro Vargas-Sánchez¹

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. ²Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

[*majo32jb@gmail.com](mailto:majo32jb@gmail.com)

Resumen

En cualquier ciudad de México, el 50% de los residuos sólidos urbanos son orgánicos domésticos generados diariamente y estos son dispuestos en rellenos sanitarios donde impactan negativamente el ambiente. El objetivo del trabajo fue evaluar el uso de un contenedor de bajo costo sobre la degradación efectiva de los residuos orgánicos domésticos. Estos residuos se mezclaron con biosólidos obtenidos de una granja porcina y se colocaron dentro de un contenedor hecho con malla metálica donde permanecieron por 7 días. Posteriormente, toda la materia orgánica se extrajo y empleando una criba, se obtuvieron las partículas más pequeñas que se almacenaron dentro de un costal desocupado. Este compost semi maduro, se homogenizó e hidrató dos veces por semana. Dentro del costal, se colocó un Datta Logger que registró continuamente la temperatura y humedad. Este procedimiento se realizó por triplicado. Después de 21 días, se tomaron muestras representativas y se realizaron análisis bromatológicos. La gráfica obtenida mostró que la temperatura alcanzó rápidamente los 50 °C; posteriormente, fue descendiendo gradualmente hasta estabilizarse. Mientras, el pH, conductividad eléctrica, los niveles de materia orgánica, nitrógeno total, carbono orgánico total y la relación C:N obtenida indicaron que el compost

generado alcanzó la madurez. También, los niveles totales de nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros elementos, mostraron que el compost tiene propiedades de fertilizante y se debe considerar como: Tipo “A” según la norma oficial consultada. Los resultados obtenidos promueven la realización de ensayos experimentales adicionales utilizando contenedores similares, pero con mayor capacidad para tratar residuos orgánicos generados en escuelas, comedores comunitarios o mercados.

Palabras clave: temperatura, compost, carbono, nitrógeno.

Introducción

El servicio de limpieza de cualquier alcaldía o municipio retira los residuos sólidos urbanos (RSU) que en su mayoría (casi 50%) son residuos orgánicos domésticos (ROD) que se generan diariamente, y anualmente, irán en aumento (Iglesias, 2007). Entonces, los RSU son transportados y dispuestos en tiraderos a cielo abierto o dentro de rellenos sanitarios donde los ROD se fermentan y emiten al ambiente metano y óxido nitroso (Arvizu, 2013) ambos, gases de efecto invernadero (GEI) con potenciales de calentamiento globales de 28 y 300 veces más al compararlos con el dióxido de carbono (CO₂). Adicionalmente, los lixiviados que “escapan” por gravedad de los rellenos sanitarios, se infiltran al subsuelo y modifican las características fisicoquímicas. De hecho, Enciso (2019) indica que prácticamente todos los rellenos sanitarios en México incumplen la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 y debido a que los recursos financieros requeridos para resolver esta problemática son limitados y difíciles de obtener, el impacto ambiental continuará por un largo tiempo. Por lo que es necesario desarrollar, implementar y/o adoptar técnicas alternativas que degraden los ROD de maneras alternas para generar principalmente CO₂ ya que, aunque es un GEI, es biogénico, a diferencia del emitido por la industria energética, por lo que regresa

a la biosfera por medio del proceso de fotosíntesis. El proceso de compostaje consiste en establecer un micro ecosistema donde sobrevivirá un consorcio microbiano sometido a características fisicoquímicas específicas (pH, conductividad eléctrica, tamaño de partícula) y, por medio de reacciones enzimáticas, los microorganismos descomponen los sustratos ofrecidos (Román *et al.*, 2013). Debido a que los ROD están compuestos principalmente por agua y moléculas a base de carbono y nitrógeno, estas últimas pueden ser empleadas, por los microorganismos, como fuente de energía y para aumentar su biomasa lo que acelera el proceso de degradación (Alkoaik, 2019). Aunque el compostaje no es un proceso nuevo (Crespo *et al.*, 2006), se debe realizar adecuadamente, esto es, siguiendo procedimientos estandarizados donde se muestre evidencia científica de la descomposición de la materia prima, así como de la calidad del compost generado. De hecho, las redes sociales contienen abundantes videos donde se ofrecen técnicas pragmáticas para degradar “fácil y rápido” los residuos domiciliarios. Los videos están bien producidos y editados, son entretenidos, y sus presentadores son carismáticos y elocuentes, pero carecen de los conocimientos técnicos de los subprocesos que conducen el proceso de compostaje. Por lo que es urgente que los investigadores y académicos generen técnicas y soluciones sostenibles que sean accesibles financieramente para ser adoptadas por la sociedad (Enciso, 2019).

Objetivo

Evaluar el efecto del uso de un contenedor de bajo costo sobre la degradación de los residuos orgánicos domésticos.

Materiales y métodos

Construcción del contenedor. Fue construido un cilindro de 61 cm de diámetro que sirvió como contenedor empleando 1.5 m de malla metálica (91 cm de altura y 0.5 cm de separación). Para mantener la forma, se usaron cinturones de plástico y como aislamiento, se colocó una capa de papel periódico alrededor del contenedor. El costo fue de \$8.84 dólares (tasa de cambio peso mexicano / dólar americano: \$20.25).

Ingredientes. i) ROD generados por 6-8 personas; ii) Biosólidos (BIOS) provenientes del paso de las aguas residuales (granja porcina de ciclo completo) por un separador en cascada; y iii) Agua de la llave (H₂O).

Manejo del contenedor. Dos veces por semana, se mezclaron y adicionaron ROD, BIOS y H₂O. Al terminar la semana, los ingredientes fueron extraídos del contenedor, se mezclaron y se hicieron pasar por una criba metálica con separación de 1.0 x 1.0 cm. Las partículas más pequeñas fueron consideradas compost semi maduro. La temperatura se midió diariamente (08:00 h) con un termómetro (TFA; Alemania).

Maduración del compost. El compost semi maduro se colocó dentro de un costal de rafia (polipropileno) vacío y en el centro del costal cargado, se colocó un registrador de datos de temperatura y humedad (Ellitech GSP-6; EUA) que se programó para registrar datos cada 6 horas. Dos veces a la semana, el compost fue extraído manualmente, se inspecciono visual y olfativamente y no presentaba ningún olor desagradable, ni presencia de vapor, mezclado, hidratado y devuelto al costal.

Muestreo. Al terminar el período de maduración (3 semanas), determinado por la reducción y estabilización de la temperatura, el contenido de los costales se vació sobre una superficie de concreto, se homogenizó y empleando la técnica de

cuarteo (Ryckeboer *et al.*, 2003), se tomó una muestra de 600 g. Estos procedimientos fueron realizados por triplicado. A cada muestra ($n=3$) se le realizó los siguientes análisis: pH y conductividad eléctrica (NMX-FF-109-SCFI-2007); humedad (método gravimétrico); nitrógeno total (Dumas); fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, hierro, cobre, manganeso, zinc y boro (digestión en microondas/ICP); azufre (digestión en microondas/turbidimetría); materia orgánica, cenizas, carbono orgánico (calcinación). Una vez obtenidos los resultados, se obtuvo el promedio y desviación estándar.

Resultados

Ingredientes empleados en total. Los ROD, BIOS y agua adicionados al contenedor fueron: 125.35 kg; 30.50 kg y 44.5 L, respectivamente. Después de 1 semana dentro del contenedor, la cantidad de compost semi maduro obtenido fue: 61.61 kg. Posteriormente, después de 3 semanas dentro de los costales, el compost maduro obtenido fue: 52.04 kg. La cantidad de residuos remanentes, que permanecieron en el contenedor al terminar el experimento fueron: 24.56 kg. Las cantidades de ROD, BIOS y agua que fueron introducidos cada semana en el contenedor, se muestran en la Tabla 1.

Tendencia de la temperatura en contenedor. La temperatura obtenida dentro del contenedor empleado se muestra en la Figura 1. Después de la primera adición de ROD y BIOS (lunes), la temperatura aumenta al siguiente día; pero, después de la segunda adición (miércoles), la temperatura alcanza el nivel máximo de temperatura. Posteriormente, la temperatura va descendiendo gradualmente.

Tabla 1. Residuos adicionados por semana.

	Unidades	Prom. (Desv. Est)
Residuos Orgánicos Domésticos	(kg)	13.93 (3.06)

Biosólidos	(kg)	3.39 (0.21)
Agua	(L)	4.96 (0.51)

Tendencia de la temperatura en costales. Cuatro días después de ingresar a los costales, la temperatura del compost semi maduro, alcanza el nivel máximo (52.5 °C). Posteriormente, la temperatura va descendiendo hasta estabilizarse (Figura 2).

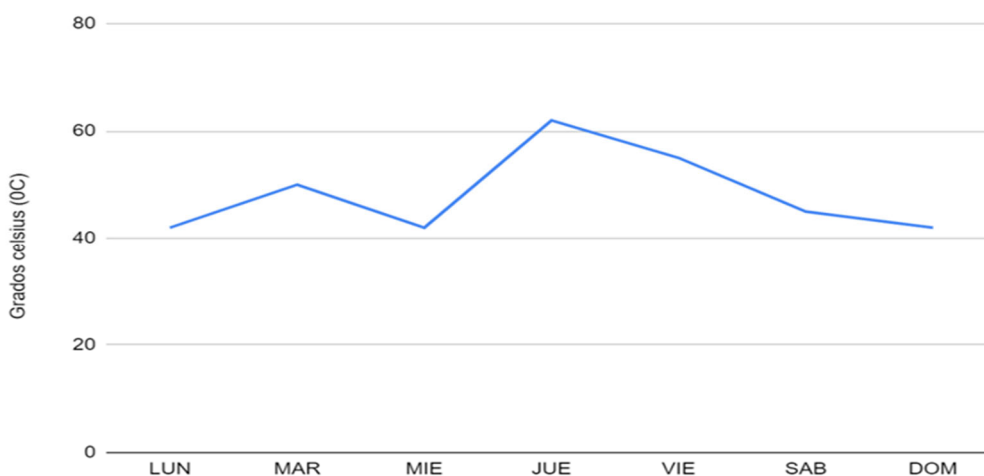


Figura 1. Tendencia de la temperatura diaria dentro de biorreactor.

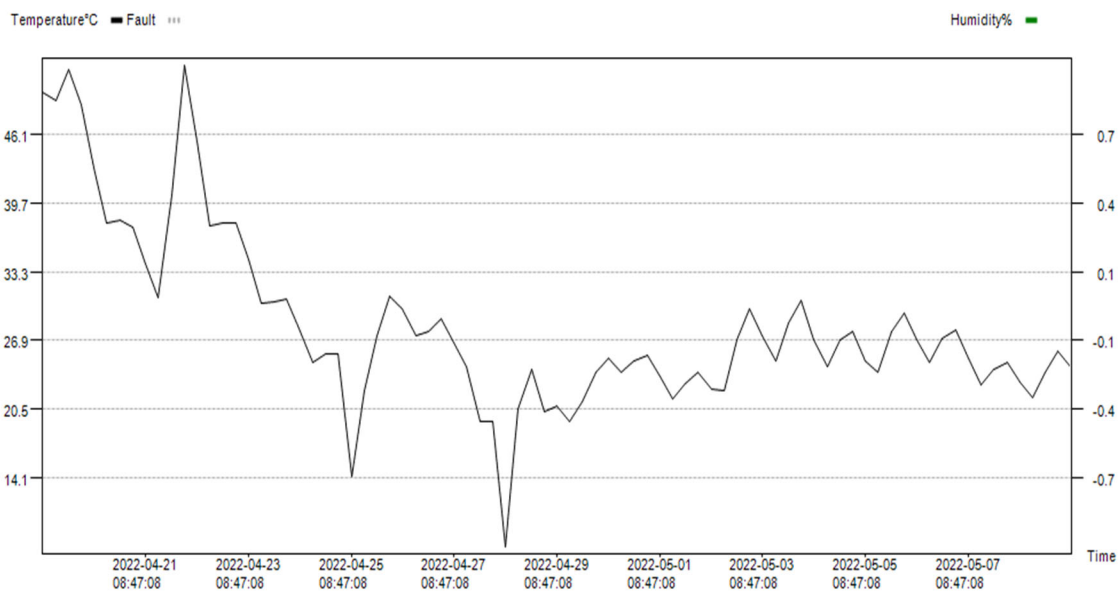


Figura 2. Tendencia de la temperatura del compost en costales

Análisis de compost. Los resultados realizados a las tres muestras de compost se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de los análisis de laboratorio realizados (n=3).

UNIDAD	Prom.	Desv. Est.
pH	7.11	0.212
Conductividad eléctrica dSm	5.73	0.929

Nitrógeno	%	3.93	0.070
Fósforo	%	1.41	0.825
Potasio	%	1.71	0.289
Ca	%	3.45	1.529
Mg	%	0.36	0.145
Na	%	0.35	0.139
S	%	0.50	0.287
Fe	ppm	3088.67	1992.503
Cu	ppm	76.76	25.409
Mn	ppm	356.67	142.500
Zn	ppm	683.67	493.832
B	ppm	32.17	2.157
Humedad	%	27.97	4.759
Materia Orgánica	%	75.37	1.904
Cenizas	%	24.63	1.904
Carbono Orgánico	%	43.73	1.102
Relación C/N		11.13	0.115

Discusión

El contenedor de bajo costo elaborado funciona como un “biorreactor”, por lo que puede emplearse para degradar los ROD generados en casas habitación con azoteas, con jardín y en las granjas familiares de las ciudades. Asumiendo que este equipo presenta una vida útil de 5 años, entonces el costo por año sería de \$1.77 dólares o \$35.36 MXN. A su vez, compostando cantidades similares de ROD que las empleadas en la presente investigación, y realizando una proyección para 52 semanas, entonces, serían degradadas casi 750 kg / contenedor. A su vez, el costo sería de \$0.047 MXN / kg de residuos compostados volviendo este sistema de compostaje muy accesible., Ryckeboer *et al.* (2003) emplearon contenedores herméticos de 200 L, para compostar 100 kg de ROD mezclados con residuos de

jardinería y obtuvieron una curva de temperatura similar a la obtenida en la presente investigación, sin embargo, el compost se estabilizó a las 12 semanas del proceso. Por el contrario, en este experimento, se logró estabilizar la temperatura en 4 semanas, lo que apoyado de la relación carbono: nitrógeno de las muestras analizadas confirman que el proceso desarrollado es una alternativa efectiva para tratar los ROD. El proceso de respiración aeróbica desarrollado por ciertos microorganismos descomponedores necesita de cantidades constantes de oxígeno y niveles de humedad precisos (Alkoaik, 2019; Román *et al.*, 2013) para realizar su función adecuadamente, por lo que la extracción frecuente de la materia orgánica para adicionar agua y homogenización antes de regresar a los recipientes aseguró las condiciones ambientales correctas para incentivar la degradación acelerada de los residuos estudiados. Finalmente, en relación con el pH, conductividad eléctrica, los niveles de materia orgánica, nitrógeno total, carbono orgánico total y la relación carbono/nitrógeno, obtenida. Delgado (2012) indica que el compost alcanzó la madurez y estabilidad con el tiempo de compostaje establecido. En 2006, Crespo *et al.*, no tuvieron resultados favorables al adicionar diferentes niveles de compost al suelo. Argumentaron niveles reducidos de P y K en el producto obtenido en su investigación. De modo similar, Ryckeboer *et al.* (2003) obtuvieron niveles de nitrógeno de 1.49%, mientras que el nivel promedio en el actual experimento fue de 3.93%. Además, si se suman los niveles de P y K, el compost generado debe considerarse además de “enmienda” (material capaz de provocar cambios en ciertas propiedades o características del suelo) (Arévalo, 2009) para suelos como “fertilizante” según la Norma Ambiental NADF-020-AMBT-2011.

En general, los hogares generan ROD y son “exportados” con la idea de que los gobiernos locales los traten adecuadamente (Arvizu, 2013); por otro lado, los BIOS generados en las granjas, muchas veces, sólo se acumulan sin tratamiento alguno, a veces por años. En la presente investigación, se compostaron en total 155 kg

entre ROD y BIOS que representaron, para los primeros, el 100% de los ROD generados por la población indicada, mientras que la cantidad de BIOS empleados, sólo representaron una fracción del total generado en la unidad de producción que los donó. Finalmente, Enciso (2019) indica que no existen técnicas efectivas para resolver el problema de la “basura” por lo que los resultados obtenidos en la presente investigación servirán para transformar efectivamente “*En-sitio*” los ROD generados continuamente pero además se obtiene rápidamente un abono de origen orgánico que podrá ser empleado en proyectos agrícolas en la Ciudad de México y área Metropolitana o comercializarlo lo que será un incentivo financiero interesante.

Conclusión

El uso del contenedor metálico empleado y la colocación del compost semi maduro dentro de costales de alimento vacíos generó, en 4 semanas, compost maduro, estable con calidad elevada que permite emplearlo en diversos proyectos agrícolas. El costo de fabricación del contenedor permite su implementación inmediata en los sitios generadores de residuos orgánicos. Por lo que, ahora es necesario realizar investigación empleando contenedores de mayor tamaño para colocarlos en sitios donde los residuos orgánicos se generan en mayor cantidad lo que servirá para resolver localmente y por el momento los problemas actuales que presenta el manejo de los residuos sólidos urbanos.

Referencias

Alkoaik, F.N. (2019). Integrating aeration and rotation processes to accelerate composting of agricultural residues. *PLoS ONE*. 14(7): e0220343. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220343>

Arévalo, G., & Castellano, M. 2009. *Manual de Fertilizantes y Enmiendas*. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. pp.34. Recuperado el 19 de septiembre de 2022 de: https://www.se.gov.hn/media/files/media/Modulo_6_Manual_Fertilizantes_y_Enmiendas.pdf

Arvizu, J.L. (2013). *Desechos*. En: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera Edición. México, D.F. pp 137-167.

Crespo, M.R., González, D. R., Miramontes, E.A., Nuño, R., Zarazúa, P., & Lépis, R. (2006). *Uso de una composta de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos agrícolas*. Avances en la investigación científica en el CUCBA. pp. 53-56.

Delgado, M. (2012). Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios, y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. Recuperado el 3 de septiembre de 2022 de: http://data.sedema.cdmx.gob.mx/padla/images/stories/normatividadddf/nadf_020_a_mbt_2011.pdf

Enciso, A. (2019). *En México existen alrededor de 40 rellenos sanitarios; ninguno opera en forma correcta*. La Jornada Maya. Recuperado el 3 de septiembre de 2022 de: <https://www.lajornadamaya.mx/nacional/118150/en-mexico-existen-alrededor-de-40-rellenos-sanitarios-ninguno-opera-en-forma-correcta>

Iglesias, D. (2007). Costos económicos por la generación y manejo de residuos sólidos en el municipio de Toluca, Estado de México. *Equilibrio económico*, 3(2): 131-148.

Román, P., Martínez, M.M., & Pantoja, A. (2013). *Fundamentos teóricos del compostaje*. En: *Manual de compostaje del agricultor*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. Pp. 21-44.

Ryckeboer, J., Mergaert, J., Coosemans, J., Deprins, K. & Swings. (2003). J. Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *Journal of Applied Microbiology*. 94: 127-137. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.01800.x>

Secretaría de Economía. (2008). *NMX-FF-109-SCI-2007, Humus de lombriz (lombricomposta) -especificaciones y métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación. 10 de junio de 2008.

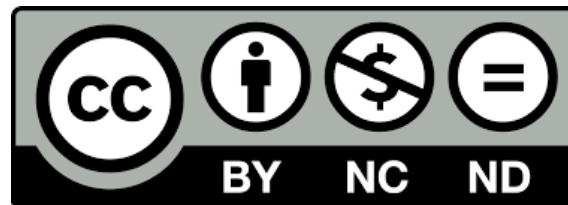
Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2004). *NOM-083-SEMARNAT-2003*. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Diario Oficial de la Federación. 20 de octubre de 2004.



D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

FORMA SUGERIDA DE CITAR:

Amaya, M., Mendoza, S. y Vargas, A. (2022). Compostaje acelerado de los residuos orgánicos domésticos. *MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC)*, Año 5, No. 5, septiembre 2022 - agosto 2023. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2022/mem2022_ExtensoPaper12.html