

EL COMPOSTAJE COMO ALTERNATIVA DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS: PROCESOS Y PARÁMETROS DE CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL

COMPOSTING AS AN ALTERNATIVE FOR MANAGING SOLID ORGANIC WASTES: PROCESSES AND QUALITY PARAMETERS OF THE FINAL PRODUCT

Herrera Cárdenas J.A.^{1*} y Gallardo J.F.²

¹Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, Prolongación Reforma 168, Barrio de Santiago
Mihuacán, Izúcar de Matamoros, Puebla C.P. 74420 (México). Teléfono: 243 436 3896.

²C.S.I.C., Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología Salamanca (jubilado), Salamanca 37008
(España)

*Autor de correspondencia: jorgea.herrera@utim.edu.mx

Recibido: 21/mayo/2021

Aceptado: 20/junio/2022

RESUMEN

El crecimiento poblacional en las áreas urbanas de los países en desarrollo ha propiciado problemas ambientales como el incremento en la generación de residuos sólidos urbanos (RSU); por lo que los sistemas de recolección, manejo y almacenamiento han resultado insuficientes para dar una solución integral al problema. El compostaje es una tecnología prometedora para el manejo de la fracción orgánica de los RSU generados y representa una importante fuente de nutrientes para las producciones agrícolas. El objetivo de este trabajo fue

identificar los parámetros operativos fundamentales del proceso de compostaje. Para ello se seleccionaron y revisaron 50 artículos, extrayendo la información relevante sobre los procesos, parámetros y logros de las investigaciones desarrolladas sobre este tema. Se identificaron diversos sustratos, entre los que destacan residuos orgánicos de actividades agrícolas y ganaderas; se recalca la importancia de aplicar inóculos para acelerar el proceso y la calidad del producto final. Se evidencia que el compostaje se considera también una alternativa para la rehabilitación de los suelos contaminados con metales e hidrocarburos.

Se corrobora la importancia del manejo de la fracción orgánica de los RSU, no sólo como importante fuente de nutrientes, sino que, también, de materia orgánica y biomasa microbiana, pudiendo utilizarse en los procesos de rehabilitación de suelos contaminados.

Palabras clave: Residuos sólidos urbanos, Subproductos orgánicos, Rehabilitación de suelos, Descontaminación, Reciclaje.

ABSTRACT

Human population growth in urban areas of developing countries has led to environmental problems such as a huge increase of urban solid waste (UR); therefore, recovering, handling and storage systems have proved insufficient to provide an inclusive solution to the problem. Composting is a promising technology for managing the organic fraction of UR generated and represents an important source of nutrients for agricultural productions. The objective of this work was to identify the composting processes and the fundamental operational parameters. To this aim, 50 articles were selected and reviewed, extracting relevant information on the processes, parameters, and achievements in the studies carried out on this topic. Several

organic substrates were identified, including organic wastes from agricultural and livestock activities; research emphasize the importance of applying inoculums to accelerate the processes and quality of the final product. Composting is also considered an alternative for the rehabilitation of soils contaminated with metals and hydrocarbons. Managing the organic fraction of UR is important, not only as an important source of nutrients, but also because its high content of organic matter and microbial biomass; in addition to this, it is confirmed that compost can be used in the rehabilitation processes of contaminated soils.

Keywords: Urban wastes, Organic subproducts, Soil rehabilitation, Decontamination, Recycling.

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos urbanos (RSU) se han convertido en un grave problema social debido a la creciente generación de basuras, la limitada capacidad de los confinamientos y un manejo inadecuado. Se han implementado diversas decisiones para clasificar y reciclar estos desechos a nivel individual, comunitario y gubernamental, pero aún se están vertiendo grandes cantidades de desechos industriales y domésticos al

ambiente (Ashehrei y Ameen, 2021). El impacto de un mal manejo de los RSU genera daños irreparables al medio ambiente, entre ellos la emisión descontrolada de gases perniciosos (como el metano; Costa y Dias, 2020). A pesar del evidente vínculo entre la mala calidad del aire y la salud de la población no se ha priorizado la investigación enfocada a la gestión de RSU y los daños a la salud ocasionados por la contaminación del aire (Kanhai *et al.*, 2021).

Para enfrentar estos problemas se han intentado diferentes vías para minimizar las posibles afecciones, tales como el confinamiento, el reciclado de materiales, la incineración, las compostas o la construcción de rellenos sanitarios inertes (Iván *et al.*, 2015). Sin embargo, las técnicas más comunes que se han implementado en países en desarrollo generan diversos problemas ambientales por la mala aplicación de estas tecnologías; por ejemplo, la disposición en vertederos sin sellar genera lixiviados que ocasionan una severa contaminación de fuentes de agua superficial y subterránea (Pellon *et al.*, 2015); así mismo son una importante fuente de emisión de gases contaminantes (Köfalusi y Aguilar, 2006), generando olores desagradables (Chávez y Leonardo, 2018) o la proliferación de focos

de infección que alteran la salud humana (do Rosario *et al.*, 2014).

El volumen generado y la composición dependen de la región geográfica, el número de habitantes y su condición social, las actividades económicas predominantes, los hábitos alimentarios regionales, la temporada y el sistema de recolección (Franca y Bassin, 2020). No obstante, una parte significativa de estos RSU es orgánica, esto es, se tratan de desechos esencialmente degradables y con un alto contenido de humedad que, con manejo adecuado, se pueden convertir en una opción viable para la producción de fertilizantes (Adebayo *et al.*, 2018; Shahnazari *et al.*, 2021). Los avances técnicos y el conocimiento sobre la estabilización de los residuos orgánicos (RO) involucrados en el proceso de compostaje han convertido al proceso de compostaje en una de las tecnologías más prometedoras para el tratamiento de los RSU (Jurado *et al.*, 2014). El compostaje es un proceso microbiológico que convierte los materiales de desechos orgánicos en materia orgánica estable, rica en nutrientes vegetales y sustancias prehúmicas (Sharma *et al.*, 2014). En el proceso de compostaje se pueden identificar fases mesófilas, termófilas, de enfriamiento y de maduración, según la intensidad de la

actividad microbiana, producción de calor resultante y pérdida de masa. La fase mesófila (<math> < 45 \text{ }^\circ \text{C}</math>) ocurre cuando la comunidad microbiana se adapta a las condiciones iniciales de la masa orgánica y la biomasa microbiana aumenta rápidamente debido a la abundancia de sustratos orgánicos fácilmente degradables (Trant *et al.*, 2021). Generalmente el compostaje se realiza en condiciones aerobias, pero también hay sistemas alternativos de digestión anaerobia para aprovechar energéticamente tales desechos orgánicos (Chia *et al.*, 2020). Entre los métodos disponibles de compostaje aeróbico se encuentran los de recipientes cerrados (como la tecnología de túneles y reactores), los métodos continuos, los métodos de volteos de pilas, además de otros más o menos sofisticados y ambientalmente controlados; en áreas pobladas se han implementado con éxito instalaciones de alta capacidad (Puyuelo y Sánchez, 2010).

El *compost* o composta se usa generalmente como fertilizante o potenciador del suelo. La fertilización con compostas es una estrategia de gestión ampliamente adoptada que proporciona algunos macronutrientes y, sobre todo, micronutrientes a las plantas, así como materia orgánica al suelo (MOS), lo que contribuye a una mayor fertilidad edáfica y a

la estabilidad de los agregados edáficos (Schipansky *et al.*, 2014 en Walkup *et al.*, 2020). Sin embargo, para impulsar la conversión de la fertilización inorgánica a la orgánica, lo primero que se debe hacer es proporcionar la información suficiente sobre fertilizantes, compostas o abonos orgánicos, incluido el contenido de nutrientes, la concentración de micronutrientes o metales traza, la salinidad y la presencia de patógenos para garantizar a los usuarios sobre la calidad de los fertilizantes o compostas. El proceso, en todo caso, debe conducir a un precio asumible, que también refleje plenamente el valor de reutilizar los residuos de alimentos y, al mismo tiempo, que procure que el precio de los productos resultantes del compostaje de residuos de alimentos sea competitivo en comparación con el precio de los fertilizantes inorgánicos (Chen *et al.*, 2020).

Dado que los métodos convencionales de tratamiento y reciclaje de residuos sólidos orgánicos contienen fallas inherentes, como la baja eficiencia, baja precisión, alto costo y posibles riesgos ambientales (Guo *et al.*, 2020) el objetivo de este trabajo fue hacer una revisión de las técnicas de transformación y de los parámetros de calidad que se han evaluado en trabajos publicados desde 2010 a la fecha.

METODOLOGÍA

Para la revisión bibliográfica se realizaron consultas mediante dos buscadores (*Google Académico* y *Science Direct*) utilizando las siguientes palabras clave: composta, proceso, eficiencia y manejo (en castellano y en inglés). Se realizó un barrido bibliográfico del periodo comprendido entre 2010 y 2021, seleccionándose los 50 artículos de investigación considerados más relevantes. De dichos trabajos se extrajo la información relacionada con la descripción del proceso de compostaje, indicando los parámetros evaluados y las conclusiones que obtuvieron los autores. La información fue volcada en una Tabla *Excel* para poder ser analizada posteriormente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del proceso

De los 50 trabajos revisados sólo 33 presentaban una descripción del proceso de compostaje y otros 20 daban detalles sobre aspectos relevantes de su proceso.

- a) Substrato. - Se reportaron: orujo de uva, aserrín, residuos de cervecería, lodos fecales, salvado de arroz, vinaza, desperdicios de alimentos y algunos residuos de jardinería. En algunos

trabajos se indican que el sustrato se mezcló con estiércol de vaca, de pollo o RO aviaros en una proporción 50:50 en peso seco o en volumen.

- b) Modalidad. -Con relación a la configuración del sistema de composteo se mencionaba el uso de diferentes tipos de recipientes: envases de polipropileno, contenedores de plástico, cajas de madera, reactores y pilas (siendo ésta una de las configuraciones más utilizadas).
- c) Aireación. - Se mencionan tres tipos: mecánica, neumática y manual. Cabe mencionar que la aireación es un parámetro que se debe controlar para prevenir condiciones anaeróbicas y la generación de olores (Külcü y Yaldiz, 2014).
- d) Tiempo. - Sólo dos autores reportaron tiempos de 30 a 105 días, uno utilizando biorreactor (Manga *et al.*, 2021) y, el otro, pilas de compostaje (Serna *et al.*, 2021).

Parámetros de calidad

Los parámetros evaluados dependen de las diferentes etapas del proceso.

- a) Calidad del material orgánico de partida. - En la fase inicial se menciona la determinación de parámetros de los

- RO relacionados con determinadas características, por ejemplo, humedad, pH y conductividad eléctrica (CE).
- b) Calidad del proceso de compostaje- Durante el proceso se reporta la medición de los siguientes parámetros: temperatura, pH, CE y emisión de gases con efecto invernadero.
- c) Calidad del producto compostado.- Al finalizar el proceso (o sobre el producto final) se suelen evaluar algunos de los parámetros siguientes: Humedad, carbono orgánico total (C_{ot}), nitrógeno total (N_t), relación carbono/nitrógeno (C/N), fósforo total (P_t), amonio, nitritos, metales pesados, índice de germinación, sólidos volátiles y contenido lignocelulósico; otros autores reportan también la determinación de ciertos indicadores para evaluar la estabilidad del *compost*; entre ellos se mencionan los siguientes: Respiración microbiana, población de hongos, bacterias heterótrofas y actividad enzimática. Respecto a la actividad enzimática se han evaluado las siguientes: Proteasa, celulasa, ureasa, fosfatasa y deshidrogenasa (Voběrková *et al.*, 2017). Vandecasteele *et al.* (2021) reportaron

el uso de cinco indicadores para evaluar la estabilidad del *compost*: Tasa de absorción de oxígeno, potencial de biodegradación, contenido de N inorgánico (N_m), riesgo de inmovilización y flujo de CO_2 . En trabajos con objetivos más específicos se reportaron: Contenido en polifenoles hidrosolubles (Martínez *et al.*, 2019), genes de resistencia a antibióticos microbianos (Ren *et al.*, 2021) y remoción de hidrocarburos (Abtahi *et al.*, 2020).

d) En relación con el tamaño de partículas sólo dos autores reportaron este parámetro (Jurado *et al.*, 2014 y Alavi *et al.*, 2017) en el proceso de compostaje, mencionando tamaños de partícula de 30 mm y un intervalo de 10 a 15 mm, respectivamente. A pesar de que no se encontró demasiada insistencia en el tamaño de partículas, es necesario controlar este parámetro dado que acorta los tiempos de compostaje (Gallardo, 2017).

Aspectos microbianos relevantes

De los 50 trabajos revisados 14 se enfocaban en la optimización del proceso; 7 de estos trabajos reportaban el uso de microorganismos para mejorar el proceso y/o

estabilización de la composta (Jurado *et al.*, 2014; Alavi *et al.*, 2017; Voběrková *et al.*, 2017; Yu *et al.*, 2018; Jalili *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2020; Cao *et al.*, 2020; Abtahi *et al.*, 2020; Henry y Maug, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2021; Quiao *et al.*, 2021; Roman *et al.*, 2021 y Vandecasteele *et al.*, 2021).

Entre los microorganismos que se han utilizado para mejorar el proceso se mencionaba *Lactobacillus plantarum* (Li *et al.*, 2020). En otro estudio identificaron el comportamiento de las comunidades bacterianas, encontrando que la familia *Thermaceae* es la predominante en la fase hipertermofílica y termofílica (Yu *et al.*, 2018).

También se incidía en la importancia de la inoculación, no sólo para acelerar los procesos de descomposición de RO lignocelulósicos, sino que también para mejorar la calidad del *compost* (Jurado *et al.*, 2014; Voběrková *et al.*, 2017). Por otro lado, la inoculación con microorganismos eficientes termoacidófilos puede mejorar la biodiversidad y la población microbiana, especialmente durante la fase termofílica (>50 °C), con un aumento consiguiente del ritmo de compostaje, la mineralización y la calidad del producto (Henry y Maug, 2020).

En otro estudio se evaluó la sucesión de las comunidades fúngicas en función de la relación C/N, identificando que un buen proceso de compostaje se caracteriza por un patrón de variación en las comunidades de hongos y una disminución de microorganismos patógenos (Quiao *et al.*, 2021).

Rehabilitación de suelos contaminados

Una de las áreas donde se ha estado insistentemente trabajado es el uso del compostaje para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos o metales.

Ghobadi *et al.* (2021) reportaron el uso de la composta para remover cobre por un proceso electrocinético, observando que la composta es un medio filtrante y reactivo prometedor, reutilizable para la eliminación de este metal en suelos contaminados.

Abtahi *et al.* (2021) estudiaron el efecto de la competencia entre dos cepas nativas aisladas de lodos de petróleo y las bacterias del *compost* durante la degradación de hidrocarburos, concluyendo que la competencia reduce la eficiencia de degradación de las cepas nativas. Otro estudio similar (Tran *et al.*, 2021) reportó que el compostaje es una tecnología eficaz para degradar hidrocarburos, mencionando que la humedad y la aireación son dos factores clave en la eficiencia del proceso.

Accinelli *et al.* (2020) reportaron que el uso de bolsas de plástico compostable genera fragmentos de plástico que, más adelante, se originarán microplásticos, promoviendo el incremento de los hongos aflatoxigénicos en el suelo.

Tratamientos anaeróbicos de los residuos orgánicos

En el caso de los tratamientos anaeróbicos de los RO se ha trabajado en la generación de biogas en vertederos de residuos municipales y su uso potencial como fuentes de energía alternativa (Rawat *et al.*, 2011 e Iván *et al.*, 2015); así, se exponen experiencias de manejo de RO a nivel comunitario, utilizando compostadores domésticos con capacidad para tratar hasta 380 kg por tanda o 126 kg por persona y por año de residuos biológicos (Vázquez y Soto, 2017). Vlachokostas *et al.* (2021) diseñaron una metodología para el manejo de RO en la que se propone una capacidad de tratamiento 3.285 ton de RO biodegradables y generación de aproximadamente 160.000 m³ año⁻¹ de biogás.

Condicionamientos sociales

En cuanto a los condicionantes sociales para la adopción general del compostaje un estudio realizado por Azevedo *et al.* (2021) expresó que las soluciones viables para el

manejo adecuado de los RSU se pueden basar en los tres pilares en los que se basa el sólido sistema alemán, a saber, leyes claras, campañas públicas regulares y metodología de tarifas.

De todas formas, antes de proceder a extender de manera generalizada el compostaje, es previo educar ambientalmente (lo que exige una inmersión de educación ambiental obligada en la enseñanza) a las comunidades (tanto urbanas como rurales), dado que gran parte de los costos recaen en la separación de los RO, que se debe realizar en origen, esto es, por las propias familias, con la cooperación de los municipios (ya que deben recoger los diversos residuos urbanos de forma separada y específica; Gallardo, 2017); por tanto, debido a los inherentes costos de inversión y operación que representan la maquinaria cuando se pretende compostar enormes volúmenes (grandes ciudades o empresas), no siempre pueden ser cubiertos sólo por las autoridades municipales u organizaciones sociales, por lo que es necesaria la colaboración de municipios, empresas contaminantes y recicladoras y, en muchas ocasiones, el propio Estado federal.

Se puede finalizar diciendo que, si bien se han logrado grandes avances en las técnicas de manejo de RO, hay que tener presente que

para abordar los problemas ambientales relacionados con la gestión de RSU en países en desarrollo es necesario resolver previamente, o a la par, problemas sociales básicos relacionados con la educación general, cívica y ambiental, la seguridad sanitaria e infraestructuras, con la vinculación y apoyo del gobierno, de las comunidades locales y de la industria generadoras de RSU o implicadas en aspectos ambientales.

CONCLUSIONES

El compostaje es una tecnología con gran potencial de aplicación en los programas de manejo de residuos sólidos orgánicos municipales y rurales; representa una alternativa que no solo evitará que una considerable cantidad de residuos orgánicos se destinen a rellenos sanitarios, sino que, además, sea una importante fuente de nutrientes que pueden coadyuvar a la fertilización y recuperación de suelos agrícolas.

Dado el buen conocimiento de la técnica se puede aplicar a nivel comunitario mediante la organización y adecuada instrucción de sus habitantes, paralelamente a un acompañamiento de las instituciones educativas.

Los parámetros que se deben controlar son, principalmente, la humedad, aireación, temperatura y tiempo, que algunos de los trabajos revisados no mencionan o no lo exponen en profundidad por darlos como suficientemente conocidos.

REFERENCIAS

- Abtahi, H., Parhamfar, M., Saeedi, R., Villaseñor, J., Sartaj, M., Kumar, V. and Koolivand, A. (2020). Effect of competition between petroleum-degrading bacteria and indigenous compost microorganisms on the efficiency of petroleum sludge bioremediation: Field application of mineral-based culture in the composting process. *Journal of Environmental Management*, 258: N°. Publ. 110013. Doi : 10.1016/j.jenvman.2019.110013.
- Accinelli, C., Abbas, H. K., Bruno, V., Nissen, L., Vicari, A., Bellaloui, N. y Shier, W. T. (2020). Persistence in soil of microplastic films from ultra-thin compostable plastic bags and implications on soil *Aspergillus flavus* population. *Waste Management*, 113: 312-318.
- Adebayo, F. O. y Obiekezie, S. O. (2018). Microorganisms in waste management. *Research Journal of Science & Technology*, 10(1): 28-39.

- Alavi, N., Daneshpajou, M., Shirmardi, M., Goudarzi, G., Neisi, A., & Babaei, A. A. (2017). Investigating the efficiency of co-composting and vermicomposting of vinasse with the mixture of cow manure wastes, bagasse, and natural zeolite. *Waste Management*, 69:117-126.
- Alshehrei, F. y Ameen, F. (2021). Vermicomposting: A Management Tool to Mitigate Solid Waste. *Saudi Journal of Biological Sciences*, en prensa. doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.072.
- Azevedo, B. D., Scavarda, L. F., Caiado, R. G. G. y Fuss, M. (2021). Improving urban household solid waste management in developing countries based on the German experience. *Waste Management*, 120: 772-783.
- Cao, Y., Wang, X., Liu, L., Velthof, G. L., Misselbrook, T., Bai, Z., & Ma, L. (2020). Acidification of manure reduces gaseous emissions and nutrient losses from subsequent composting process. *Journal of Environmental Management*, 264: N°. Publ. 110454. Doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110454
- Chávez, M. L. y Leonardo, C. N. P. (2018). Impacto Ambiental Generado por el Botadero de Residuos Sólidos en un caserío de la ciudad de Chota. *UCV-HACER: Revista de Investigación y Cultura*, 7(2): 25-34.
- Chen, L., de Haro Marti, M., Moore, A. y Falen, C. (2011). The composting process. *Dairy Manure Compost Production & Use in Idaho*, 2: 513-532.
- Chen, T., Zhang, S. y Yuan, Z. (2020). Adoption of solid organic waste composting products: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 272: N°. Publ. 122712. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122712.
- Chia, W. Y., Chew, K. W., Le, C. F., Lam, S. S., Chee, C. S. C., Ooi, M. S. L. y Show, P. L. (2020). Sustainable utilization of biowaste compost for renewable energy and soil amendments. *Environmental Pollution*, 267: N°. Publ. 115662. Doi: 10.1016/j.envpol.2020.115662.
- Costa, I. M. y Dias, M. F. (2020). Evolution on the solid urban waste management in Brazil: A portrait of the Northeast Region. *Energy Reports*, 6: 878-884.
- do Rosario, J. B. F., Toledo, D. N. C., Castillo, G. B. y Suárez, E. G. (2014). Gestión de los residuos sólidos y sus impactos económicos, sociales y medioambientales. *Revista Centro Azúcar*, 41(4): 9-20.
- Franca, L. S. y Bassin, J. P. (2020). The role of dry anaerobic digestion in the treatment of

- the organic fraction of municipal solid waste: A systematic review. *Biomass & Bioenergy*, 143: N°. Publ. 105866. Doi: 10.1016/j.biombioe.2020.105866.
- Gallardo, J.F. (2017). *La materia orgánica del suelo*. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco (México). I.S.B.N.: 978-607-12-0474-5. 424 pp.
- Ghobadi, R., Altaee, A., Zhou, J. L., McLean, P., Ganbat, N. y Li, D. (2021). Enhanced copper removal from contaminated kaolinite soil by electrokinetic process using compost reactive filter media. *Journal of Hazardous Materials*, 402: N°. Publ. 123891. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123891.
- Guo, H. N., Wu, S. B., Tian, Y. J., Zhang, J. y Liu, H. T. (2020). Application of machine learning methods for the prediction of organic solid waste treatment and recycling processes: A review. *Bioresource Technology*, 319: N°. Publ. 124114. Doi: 10.1016/j.biortech.2020.124114.
- Henry, A. B. y Maung, C. E. H. (2020). Metagenomic analysis reveals enhanced biodiversity and composting efficiency of lignocellulosic waste by thermoacidophilic effective microorganism (tEM). *Journal of Environmental Management*, 276: N°. Publ. 111252. Doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111252.
- Iván, V. R., Melitón, E. J., José, M. R. y Agustina, O. S. (2015). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica. Parte II: residuos sólidos urbanos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(3): 471-478.
- Jurado, M. M., Suárez-Estrella, F., Vargas-García, M. C., López, M. J., López-González, J. A. y Moreno, J. (2014). Increasing native microbiota in lignocellulosic waste composting: Effects on process efficiency and final product maturity. *Process Biochemistry*, 49(11): 1958-1969.
- Kanhai, G., Fobil, J. N., Nartey, B. A., Spadaro, J. V. y Mudu, P. (2021). Urban Municipal Solid Waste management: Modeling air pollution scenarios and health impacts in the case of Accra, Ghana. *Waste Management*, 123: 15-22.
- Köfalusi, G. K. y Aguilar, G. E. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta Ecológica*, 79: 39-51.
- Külcü, R. y Yaldiz, O. (2014). The composting of agricultural wastes and the new parameter for the assessment of the process. *Ecological Engineering*, 69: 220-225.
- Li, W., Liu, Y., Hou, Q., Huang, W., Zheng, H., Gao, X. y Sun, Z. (2020). Lactobacillus

- plantarum improves the efficiency of sheep manure composting and the quality of the final product. *Bioresource Technology*, 297: N°. Publ. 122456. Doi: 10.1016/j.biortech.2019.122456.
- Manga, M., Camargo-Valero, M. A., Anthonj, C. y Evans, B. E. (2021). Fate of faecal pathogen indicators during faecal sludge composting with different bulking agents in tropical climate. *International Journal of Hygiene & Environmental Health*, 232: N°. Publ. 113670. Doi: 10.1016/j.ijheh.2020.113670.
- Martínez-Sabater, E., García-Muñoz, M., Bonete, P., Rodríguez, M., Sánchez-García, F. B., Pérez-Murcia, M. D. y Moral, R. (2019). Comprehensive management of dog faeces: Composting versus anaerobic digestion. *Journal of Environmental Management*, 250: N°. Publ. 109437. Doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109437.
- Pellón Arrechea, A., López Torres, M., Espinosa Lloréns, M. D. C. y González Díaz, O. (2015). Propuesta para tratamiento de lixiviados en un vertedero de residuos sólidos urbanos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(2): 3-16.
- Puyuelo, B., Gea, T. y Sánchez, A. (2010). A new control strategy for the composting process based on the oxygen uptake rate. *Chemical Engineering Journal*, 165(1): 161-169.
- Qiao, C., Penton, C. R., Liu, C., Tao, C., Deng, X., Ou, Y. y Li, R. (2021). Patterns of fungal community succession triggered by C/N ratios during composting. *Journal of Hazardous Materials*, 401: N°. Publ. 123344. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123344.
- Rawat, M. y Ramanathan, A. L. (2011). Assessment of methane flux from municipal solid waste (MSW) landfill areas of Delhi, India. *Journal of Environmental Protection*, 2(04), 399-407.
- Ren, J., Deng, L., Li, C., Dong, L., Li, Z., Zhang, J. y Niu, D. (2021). Effects of added thermally treated penicillin fermentation residues on the quality and safety of composts. *Journal of Environmental Management*, 283: N°. Publ. 111984. Doi: 10.1016/j.jenvman.2021.111984.
- Roman, F. F., de Tuesta, J. L. D., Praça, P., Silva, A. M., Faria, J. L., & Gomes, H. T. (2021). Hydrochars from compost derived from municipal solid waste: Production process optimization and catalytic applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), N°. Publ. 104888. Doi: 10.1016/j.jece.2020.104888.
- Schipanski, M. E., Barbercheck, M. E., Murrell, E. G., Harper, J., Finney, D. M.,

- Kaye, J. P. y Smith, R. G. (2017). Balancing multiple objectives in organic feed and forage cropping systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239: 219-227.
- Serna-García, R., Ruiz-Barriga, P., Noriega-Hevia, G., Serralta, J., Pachés, M. y Bouzas, A. (2021). Maximising resource recovery from wastewater grown microalgae and primary sludge in an anaerobic membrane co-digestion pilot plant coupled to a composting process. *Journal of Environmental Management*, 281: N°. Publ. 111890. Doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111890.
- Shahnazari, A., Pourdej, H. y Kharage, M. D. (2021). Ranking of Organic Fertilizer Production From Solid Municipal Waste Systems Using Analytic Hierarchy Process (AHP) and VIKOR Models. *Biocatalysis & Agricultural Biotechnology*, 32: N°. Publ. 101946. Doi: 10.1016/j.bcab.2021.101946.
- Sharma, A., Sharma, R., Arora, A., Shah, R., Singh, A., Pranaw, K. y Nain, L. (2014). Insights into rapid composting of paddy straw augmented with efficient microorganism consortium. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(2): 54-62.
- Tran, H. T., Lin, C., Bui, X. T., Ngo, H. H., Cheruiyot, N. K., Hoang, H. G. y Vu, C. T. (2021). Aerobic composting remediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil. Current and future perspectives. *Science of The Total Environment*, 753: N°. Publ. 142250. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142250.
- Vandecasteele, B., Pot, S., Maenhout, K., Delcour, I., Vancampenhout, K. y Debode, J. (2021). Acidification of composts versus woody management residues: Optimizing biological and chemical characteristics for a better fit in growing media. *Journal of Environmental Management*, 277: N°. Publ. 111444. Doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111444.
- Vázquez, M. A. y Soto, M. (2017). The efficiency of home composting programmes and compost quality. *Waste Management*, 64: 39-50.
- Vlachokostas, C., Achillas, C., Diamantis, V., Michailidou, A. V., Baginetas, K. y Aidonis, D. (2021). Supporting decision making to achieve circularity via a biodegradable waste-to-bioenergy and compost facility. *Journal of Environmental Management*, 285: N°. Publ. 112215. Doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112215.
- Voběrková, S., Vaverková, M. D., Burešová, A., Adamcová, D., Vršanská, M., Kynický, J. y Adam, V. (2017). Effect of inoculation with white-rot fungi and fungal consortium on the

composting efficiency of municipal solid waste. *Waste Management*, 61: 157-164.

Walkup, J., Freedman, Z., Kotcon, J. y Morrissey, E. M. (2020). Pasture in crop rotations influences microbial biodiversity and function reducing the potential for nitrogen loss from compost. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 304: N°. Publ. 107122. Doi: 10.1016/j.agee.2020.107122.

Yu, Z., Tang, J., Liao, H., Liu, X., Zhou, P., Chen, Z. y Zhou, S. (2018). The distinctive microbial community improves composting efficiency in a full-scale hyper-thermophilic composting plant. *Bioresource Technology*, 265(2018): 146-154.

Huan, C., Fang, J., Tong, X., Zeng, Y., Liu, Y., Jiang, X., y Yan, Z. (2021). Simultaneous elimination of H₂S and NH₃ in a bio-trickling filter packed with polyhedral spheres and best efficiency in compost deodorization. *Journal of Cleaner Production*, 284: N°. Publ. 124708. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124708.