

Valorización de propiedades fisicoquímicas de residuos sólidos orgánicos alimentarios para la elaboración de compostaje

Valorization of physicochemical properties of solid organic food waste for the preparation of composting

Nelly Liliana Pérez Pérez^{1,a}, Luis Miguel Linares Nima^{1,b}, Bélgica Dione Pérez Huamán^{1,c}

Recibido: 30/03/2023 - Aprobado: 18/06/2023 – Publicado: 06/10/2023

RESUMEN

La gestión de los residuos sólidos orgánicos representa un desafío a escala global, donde están experimentando un crecimiento proporcional al demográfico. Esta preocupación se debe a que se ha duplicado la generación de residuos sólidos orgánicos ascendiendo en aproximadamente a más de un billón de toneladas por año. En los esfuerzos por minimizar la generación de residuos o reducir su volumen que va hacia los rellenos sanitarios, se propone la valorización de residuos orgánicos, como estrategia de economía circular para la producción de compostaje. El presente estudio es una revisión bibliográfica sobre el compostaje, que tiene como objetivo evaluar las características de los parámetros físicos y químicos del proceso de elaboración del compostaje de los residuos sólidos orgánicos, obteniendo como resultados diversos parámetros que influyen en dicho proceso tales como el pH, el porcentaje de humedad, la relación C/N, la temperatura y el tamaño de partícula. Concluyendo según la revisión, que el compost hecho de residuos alimentarios presenta mayor cantidad de nutrientes a diferencia de los residuos agrícolas y forestales.

Palabras claves: Parámetros físicos y químicos, residuos orgánicos, compostaje, economía circular, sostenibilidad.

ABSTRACT

The management of organic solid waste is a global challenge, and they are experiencing growth commensurate with the population. This concern is due to the doubling of the production of organic solid waste, which is more than 1 billion tons per year. In order to minimize the generation of waste or reduce the volume of waste entering the sanitary landfill, it is suggested to use organic waste recycling as a circular economy strategy to produce biological composite materials. This study is a literature review of biological composite, aiming to determine the physical characteristics of physical and chemical parameters in the process of organic solid waste composting, to obtain various parameters affecting the process, such as pH value, water content, C/N ratio, temperature and particle size. According to the review, compost made from food residues provides more nutrition than agricultural and forestry wastes.

Keywords: Parameters physical and chemical, food waste, bio composting, circular economy, sustainability.

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima, Perú.

Maestros en Gestión Integrada de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente.

a. E-mail: nelly.perez@unmsm.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4542-2106>

b. E-mail: luis.linares5@unmsm.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3618-3796>

c. E-mail: belgica.perez@unmsm.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2230-637X>

I. INTRODUCCIÓN

A raíz del desmesurado aumento de la población y el crecimiento de la economía a nivel global, se ha generado una mayor concentración de habitantes en las zonas urbanas, realidad que se ha convertido en una de las causas de la generación desmedida de residuos sólidos urbanos (RSU) en la actualidad (Jara-Samaniego et al., 2017; Singh, 2019; Magazzino et al., 2020).

En los inicios de los años 2000 había 2.9 billones de habitantes en zonas urbanas, que generaban 0.64 kg de RSU por persona al día en promedio (0.68 billones de toneladas por año). El informe sobre manejo de residuos sólidos realizado por el Banco Mundial en el año 2012 indicó que las cantidades han aumentado a 3 billones de habitantes generando 1.2 kg por persona por día (1.3 billones de toneladas por año) (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

La generación de residuos urbanos está experimentando un crecimiento acelerado proporcional al demográfico (Ayeleru et al., 2018; Wang et al., 2020). En el año 2012, América Latina generó la cantidad total de residuos por año de 160 millones de toneladas, con valores per cápita que oscilan entre 0,1 y 14 kg / cápita / día, y un promedio de 1,1 kg cápita / día (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

En el Perú, los residuos sólidos orgánicos domiciliarios representan más del 50% de la composición del total de residuos municipales. Sin embargo, cerca del 1% se valoriza adecuadamente (MINAM, 2019).

De acuerdo con el análisis realizado por el registro nacional de municipalidades sobre el destino final de los residuos sólidos municipales, podemos determinar que en promedio a nivel nacional se compostan tan solo el 0.50% de todos los residuos generados, mientras que el 63.90% está destinado a los botaderos. (Orihuela, 2018)

Entre las plantas de compostaje más destacadas del Perú está la empresa Lima Compost, que registró en mayo de 2022, 21 toneladas de residuos orgánicos transformados y obtuvo 5.7 toneladas de compost, repartidas a un total de 661 hogares, mercados, restaurantes y pequeñas empresas. (Valenzuela & León, 2015). También está Aprocompost, una planta de compostaje dirigido al sector industrial pesquero en el Perú y Latinoamérica, que donó más de 170 toneladas de compost, destinados a áreas verdes de los gobiernos locales de la provincia de Pisco. (Planta de Compostaje – SNP, 2011) y Tower and Tower, una planta de compostaje destinado al reciclaje de distintos residuos orgánicos, mediante tratamientos biológicos para alcanzar el compost, que se obtiene mediante la descomposición aeróbica de estos residuos orgánicos, que sirve como abono en los campos agrícolas. (Towercito, 2022)

La eliminación de los residuos de alimentos en vertederos e incineración pueden causar problemas ambientales graves, como lixiviados o emisión de gases de combustión (Vandermeersch et al., 2014; Kannah et al., 2020). Asimismo, ocupan terrenos extensos y recursos económicos para su tratamiento (Du et al., 2018) y también generan enfermedades a la salud humana (Waqas

et al., 2018). Es por esto, que la gestión de los residuos alimenticios representa un reto en términos económicos y ecológicos (Carmona-Cabello et al., 2018). Los residuos sólidos orgánicos se pueden reducir considerablemente en volumen por compostaje y convertido en tierra de plantación como sustituto de fertilizantes químicos y mejorar la calidad del suelo (Cerdeira et al., 2018).

El objetivo del estudio está orientado a la evaluación de las características de los parámetros físicos y químicos del proceso de elaboración del compostaje de los residuos sólidos orgánicos y con ello poder aportar información para el proceso de valorización.

II. METODOLOGÍA

La revisión bibliográfica se llevó a cabo entre los meses de octubre y noviembre de 2022, se buscó artículos en la base de datos científica de Scopus y tesis en los repositorios institucionales de la Universidad Autónoma de Barcelona, Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad de São Paulo, la Universidad Nacional de San Marcos y Pontificia Universidad Católica del Perú. Para la búsqueda se emplearon palabras clave como residuos orgánicos, compostaje, valorización entre otras. De 50 artículos obtenidos, se utilizaron 30 artículos de los últimos 5 años y cuatro tesis relacionadas a la valorización de residuos orgánicos domiciliarios.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se observan aquellos parámetros que intervienen en el proceso del compostaje. Asimismo, se consideran rangos mínimos y máximos que deben ser tomados en cuenta durante el proceso de compostaje.

Tabla 1

Parámetros físicos característicos del compostaje.

Parámetros	Valor mínimo	Valor máximo	Fuente
pH	6	9	Kiyasudeen et al. (2016)
Humedad (%)	40	60	Azim et al. (2017)
Relación C/N	20	70	Reyes-Torres et al. (2018)
Temperatura	45	65	Zhang y Sun. (2016)
T. partícula (mm)	5	40	Haynes et al. (2015)

Nota: Se observan los parámetros físicos en el proceso de compostaje

Respecto al pH, el valor del pH depende de la enmienda utilizada y varía en cada fase del proceso de compostaje (Chia et al., 2020). En la etapa inicial el pH disminuye a valores de 4 y 4.5, debido a que se forman ácidos orgánicos (Waqas et al., 2018). Por el contrario, en la fase termófila el pH se incrementa por la formación de amoníaco (Romero, 2017). Además, al bajar de 40°C, el pH desciende poco en fase de enfriamiento, siendo levemente alcalino. El pH ideal para el compostaje es variado, pero se consideran aquellos ligeramente alcalinos 6.8 - 7.9 (Jara-Samaniego et al., 2017).

En relación con la humedad, en el proceso de compostaje, el porcentaje de humedad oscila entre 55% al 65% (Chai et al., 2013; Waqas et al., 2018). Si la humedad es muy baja se inhibe en parte la acción de los microorganismos y si es alta conlleva a un proceso anaeróbico (Ayeleru et al., 2018) generando diversos problemas. La aireación tiene alta relación con la humedad. Se considera un 10% óptimo de la cantidad de oxígeno, ya que si la aireación es alta podría disminuir la temperatura y la pérdida de humedad y si la aireación es baja podría incrementarse la humedad y ocasionar alteración del proceso (Romero, 2017). Por lo tanto, se debe conservar una humedad óptima del 50% al 60% para el metabolismo microbiano, y no se debe superar el 70% de humedad ya que podría generar lixiviados.

En cuanto a la relación C/N, está en alrededor de 25:1 a 30:1 (Romero, 2017), asimismo, al inicio del proceso de compostaje la relación es de 30:1 y al final del proceso disminuye a 10:1. Esto podría deberse a la actividad de los microorganismos de degradar materiales orgánicos, además, gran parte de C se pierde como CO₂. Para mejorar la relación C/N se emplean diversos tipos de estiércol y orinas de animales (Romero, 2017). Por un lado, la gallinaza de las aves presenta alta relación de C/N, pero pH ácido. Por otro lado, los purines mezclados con paja tienden a mejorar la relación C/N. En el trabajo realizado por Ayeleru et al. (2018) emplearon estiércol de caballo para incrementar la relación C/N a niveles de 26 y 30. No obstante, si la relación C/N es muy alta podría estar limitado el N y si es muy bajo podría haber exceso de N, lo que llevaría a la ralentización y generación de olores respectivamente (Ayeleru et al., 2018).

Referente a la temperatura, generalmente el proceso de compostaje comprende ciertas fases. Inicia con la fase mesófila, en donde la temperatura incrementa a 45°C como consecuencia del incremento de la actividad microbiana (Voběrková et al., 2020). En la fase termófila se incrementa la temperatura a 60°C donde se degrada la materia, ceras y otros compuestos de manera muy acelerada, esto estaría siendo influenciado por los nuevos microorganismos que tienden a aparecer a esta temperatura (Du et al., 2018; Waqas et al., 2018). Asimismo, en la etapa termofílica se produce la desinfección de patógenos del compost, se reducen los olores y se mejora la calidad del producto final (Chia et al., 2020). Termina con la fase de enfriamiento, en donde se desciende a 40°C, nuevamente ingresan los microorganismos mesófilos y el pH se mantiene alcalino (Romero, 2017). Asimismo, se debe cuidar la temperatura ya que, si disminuye muy rápido, la velocidad de descomposición será menor y afectará al proceso de compostaje.

Acerca del tamaño de la partícula del compost, debe ser lo más pequeña posible, ya que ello podría acelerar la degradación de estos por los microorganismos (Romero, 2017). Por su parte, Chia et al. (2020) mencionan que el tamaño de partícula del material empleado es fundamental ya que tiene relación directa con la porosidad, compactación y el tema de la aireación. Asimismo, diversos autores consideran un tamaño entre 10 y 40 mm (Jara-Samaniego et al., 2017).

En la Tabla 2 se muestran las características de los diversos tipos de residuos orgánicos. Se tienen en cuenta el pH, y los porcentajes de materia orgánica, carbono, nitrógeno, fósforo y potasio.

Tabla 2

Comparativo de las características de los parámetros químicos de los residuos sólidos orgánicos

Tipos	% de MO	pH	C%	N%	P%	K%	Fuente
Residuos de comida	77	7.8	45	1.8	0.3	2.2	Jara-Samaniego et al. (2020)
Residuos municipales	50	7.2	38	1.2	0.1	0.5	Mladenov (2018)
Residuos de jardín	-	5.2	33 - 32.6	0.7 - 1.76	0.0032	0.92	Rahman et al. (2020); Hemalatha (2013)
Restos agrícolas	85	6.7	-	1.4	0.6	2.3	Zhang et al. (2011); Külücü y Yaldiz (2014)
Restos de animales	83	7.5	-	1.8	0.3	1.2	Sosa et al. (2016)

Nota: Se observan los diferentes valores de los parámetros químicos de los diferentes residuos sólidos urbanos (RSU)

La siguiente tabla muestra la clasificación de diferentes tipos de residuos, siendo estos crudos y cocidos, producto de los restos de comida según (Rojas et al., 2012), ya que presentan características químicas y físicas propias, tales como Carbono con un promedio del 45%, Nitrógeno con un promedio de 1.8%, Fósforo y Potasio con 0.3% y 2.2%, respectivamente siendo valores que los diferencian entre sí como son el pH y la humedad, teniendo pH promedio de 7.8%. (Jara-Samaniego et al., 2020). Cada variable tiene un comportamiento distinto dependiendo del tipo de sustrato con el que se composta y estos deberían tener un manejo diferenciado. (Garita & Rojas, 2013).

El volumen creciente de residuos sólidos municipales, han generado un manejo inadecuado de residuos orgánicos domiciliarios, conllevando a la proliferación de tiraderos sin control, que generan riesgos al ambiente y a la salud humana (INEI, 2019). Mladenov (2018) en su trabajo realiza una comparación de tres tipos diferentes de compostaje; uno "A" elaborado con pasto y madera dura, un tipo "B" con pasto y restos de plantas coníferas, ambas mediante la técnica compostaje casero y un tipo "C" a base de residuos municipales hecha de una combinación de restos de alimentos y restos de jardín de parque mediante la técnica tipo "túnel industrial". Dando como resultados que las mayores concentraciones de nutrientes C, N, K

y P con valores promedios de 38%, 1.2%, 0.1% y 0.5%, respectivamente que se dieron en el compostaje de tipo “C”. La concentración de P es muy similar para los tres tipos de compostaje. Otros parámetros importantes muestran que, entre los tres tipos de compostaje, solo el tipo “C” tiene un pH neutro y los tipos “A” y “B” tienen valores de pH ácidos, esto puede determinar en una futura aplicación a suelos alcalinos. Las materias orgánicas en los tres tipos son aproximadas al 50% y el mayor valor lo tiene el de tipo “C”. Los tres tipos de compostajes presentan una buena porosidad superior al 70% (Mladenov 2018).

Los desechos de jardines tienen diferentes posibilidades de aprovechamiento desde aplicaciones energéticas, que no vienen siendo aprovechadas de manera adecuada y está aumentando drásticamente con la rápida urbanización a nivel global (Shi et al. 2013). Entre las diversas aplicaciones aprovechables de los desechos de jardines están la elaboración de compostaje y vermicompostaje, en donde se pueden elaborar de manera conjunta con diversos elementos como frutas en descomposición parcialmente y especies autóctonas de lombrices de tierra. Entre las características iniciales de los desechos de jardín destacan un pH de 7.2, una concentración de N, P, K y C de 1.76%, 0.0032%, 0.92% y 32.6%, respectivamente. Los desechos de jardín son descompuestos y fragmentados por las lombrices. Esta formulación de vermicompostaje resulta ser un método eficaz, no produce olores, genera una buena cantidad de nutrientes por parte de las frutas y los desechos de jardín. Los resultados finales del vermicompostaje son concentraciones promedias de N, P, K y C de 3.2%, 1.1%, 1.1% y 35%, respectivamente, y la optimización del tiempo del compostaje tradicional de 200 a 40 días aproximadamente (Hemalatha, 2013). Es importante el proceso de formulación inicial del compostaje con desechos de jardín, se sugiere agregar estiércol de ganado y otros desechos para lograr una adecuada relación C/N inicial ideal para un compostaje adecuado (Rahman et al. 2020).

Los principales residuos orgánicos de animales son el estiércol y subproductos generados en relación con ellos.

Existe gran variabilidad en la composición física y química de los efluentes y sólidos generados y está relacionado directamente con las dietas. En el estiércol generado por granjas porcinas los parámetros como el N se encuentra en forma amoniacal que tiene rápida disponibilidad para el suelo, los valores del pH son básicos entre 7 a 8.5, la relación de C/N es baja de 3 a 5. En los residuos sólidos de la leche se recomienda un tratamiento para la separación de efluentes de la parte sólida, teniendo una notable diferencia en sus concentraciones, los residuos efluentes tienen concentraciones de MO, N, P, K de 0.34%, 0.19%, 0.02%, 0.36% en comparación a los residuos semisólidos de 83%, 1.86%, 0.36%, 1.17%, respectivamente. Donde la relación de C/N es variable según la madurez de este. (Sosa et al. 2016).

En cuanto a los restos agrícolas, las especies de bacterias y hongos juegan un papel importante en la descomposición y mineralización de los desechos orgánicos agrícolas, es probable que la composición de sus comunidades se vea influenciada por varios parámetros fisicoquímicos en el sistema de compostaje. (Eiland et al., 2001).

Para lograr una comprensión más profunda de las características del proceso de compostaje de residuos agrícolas, se desarrollaron diversos estudios para determinar si los cambios en las composiciones de las comunidades bacterianas podrían asociarse con parámetros fisicoquímicos medidos simultáneamente, teniendo valores promedio de MO 85%, pH 6.7%, relación C/N. Mientras tanto, también se operó para asegurarse que los parámetros y la composición de la actividad microbiana conduciría a una nueva perspectiva hacia un mejor control de compostaje de residuos agrícolas comerciales. (Liu et al., 2011; Kulcu y Yaldiz, 2014; Zhang et al., 2011).

En cuanto a los beneficios de las diferentes enmiendas para producir compostaje. En la Tabla 3 se han considerado desde los lodos de una planta de tratamiento hasta la vermicomposta. Asimismo, se mencionan aquellas ventajas y desventajas de estas matrices para la producción de un compostaje de alto rendimiento.

Tabla 3

Beneficios de diferentes enmiendas para producir compostaje

Tipo de enmienda	Oportunidades	Desafíos	Fuente
Lodos de PTAR	Compost con alto contenido de fósforo.	Puede poseer metales pesados, baja población microbiana.	Romero (2017); Barrena et al. (2007)
Residuos forestales cultivos.	Se emplea como sustratos de Lenta descomposición y bajo en nutrientes.	Mladenov (2018)	
Residuos agrícolas	Un compost de calidad se emplea como sustrato en la producción de cultivo.	Algunos restos podrían alterar el pH.	Luna-Vega et al. (2015)
Residuos domiciliarios	Excelente compost de alta calidad contiene altos nutrientes de P, K y C.	Si la aireación es insuficiente podría llevar a un proceso anaerobio.	Romero (2017)
Vermicompost	Alta calidad. Rápida transformación de la materia orgánica. Microbiológicamente muy activos.	Se debe tener cuidado con las lombrices. Requiere humedecer.	Pandit et al. (2020)
Residuos de animales	Estrategia de fertilización a largo plazo. Presenta una alternativa viable para reutilizarlos y evitar una fuente de contaminación.	Presenta una relación baja de C/N, y alta conductividad eléctrica.	Sosa et al. (2016)

Nota: Diferentes tipos de enmiendas en la aplicación del proceso de elaboración de compostaje

Respecto a los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), en el proceso de compostaje se hicieron mono digestiones y codigestiones anaerobias; es decir, diversas mezclas de lodos de aguas residuales con residuos alimenticios para generar biogás en reactores por lotes en condiciones mesofílicas, dando como resultado que la codigestión genera la más alta producción de metano, dado que los residuos de alimentos proveen carbono orgánico a los lodos, optimizando la producción de biogás y por ende mejorando la relación C/N (Julio, Peláez & Molina, 2016). Además, trabajaron con un reactor para producir biogás a partir de lodo fresco del tratamiento de aguas residuales en condiciones mesofílicas, el digester fue operado a diferentes cargas de alimentación durante 20 días, de este estudio es evidente que si el digester es operado con mayores cargas de biomasa, menor será el tiempo de retención hidráulica (TRH) y el sistema se volverá más estable. Asimismo, este tratamiento se convierte en una alternativa para el tratamiento excedente de lodos en las PTAR (Rodríguez, Ventura, López & Pérez, 2017).

Los residuos forestales que provienen de las operaciones de podas urbanas pueden ser aprovechados como una energía renovable (ER) para la producción de electricidad a partir de procesos térmicos (Pérez, Borge y Agudelo, 2010). Una de las ventajas que posee la biomasa forestal residual es la carencia de un valor ecológico o agrícola, a diferencia de otros tipos de residuos vegetales no arbóreos (Barragán, 2018). El mantenimiento de las áreas verdes públicas es además una necesidad de adecentamiento urbano, que genera colateralmente una producción continua del recurso. Los residuos vegetales generados por la práctica agrícola pueden considerarse contaminantes ambientales cuando no son gestionados correctamente, o recursos valiosos si son gestionados adecuadamente (López et al., 2015b). La contaminación

del medio ambiente se incrementa con el aumento de la población debido a la generación de residuos y al consumo ilimitado de materiales residuales. La producción de residuos agrícolas se está convirtiendo en un problema grave causando efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud pública.

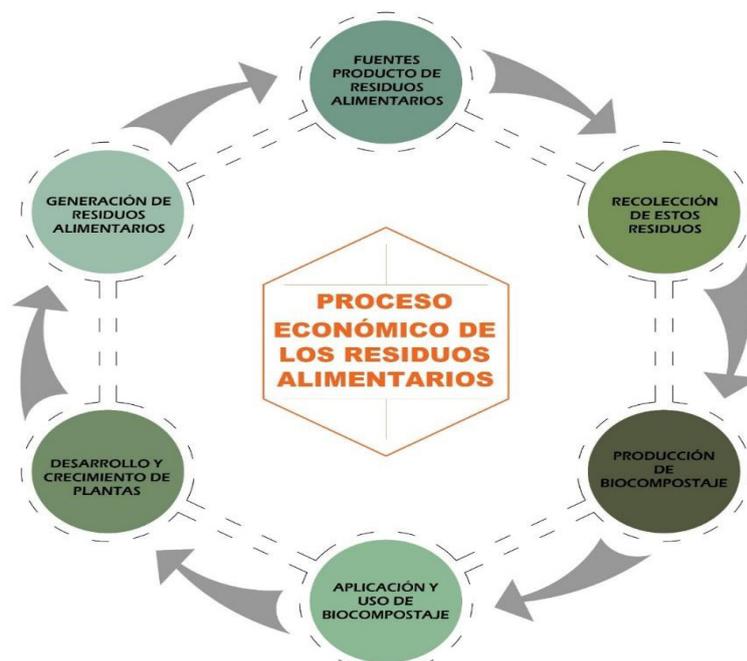
Los residuos vegetales procedentes de cultivos leñosos derivados de podas, talas, etc., acumulan alrededor de 1.300.000 toneladas/año y son normalmente reutilizados, vendidos como leña, para la industria de pellets, muebles de madera, o triturados e incorporados a los campos de cultivos. En cuanto a los residuos herbáceos, según las estadísticas de la FAO su producción fue muy elevada en España (FAOSTAT, 2015). A pesar de sus ventajas de los residuos agrícolas, en las actividades de cosecha se generan daños y rompimientos, creando una gran cantidad de desechos que presentan un problema en cuanto a recolección y disposición (Macua, et al., 2009).

El vermicompostaje está llamado a ser la segunda revolución verde para la generación de fertilizante orgánico para su uso en la producción de alimentos sanos (Sinha et al., 2010). Estudios han demostrado que el contenido de macronutrientes y micronutrientes en la vermicomposta es generalmente mayor que en el compost tradicional, contiene niveles altos de los principales nutrientes en forma más solubles como Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio en comparación con la composta normal (Su et al., 2015).

En la Figura 1 se aprecia el ciclo de vida del compostaje con una visión de economía circular. El compostaje de residuos alimentarios podría ser la mejor solución para la valorización de estos residuos, y con ello la reducción de los impactos que podría causar mediante su inadecuada disposición.

Figura 1

Proceso económico de los residuos sólidos alimentarios. Adaptado de Awasthi et al., 2020



La actualización de la matriz energética es un tema a priorizar en la política peruana en base a la creación de un marco regulatorio acorde con la necesidad de mitigar la emisión de gases de efecto invernadero. A corto y mediano plazo es necesario apostar por la explotación y uso de gas natural (Ego Aguirre, 2023), que sustente la ejecución de grandes proyectos en visión a la transformación de energía a partir de fuentes no convencionales para el abastecimiento de electricidad a la población.

La participación ciudadana cumple un rol importante si logramos incentivarlos para que consuman energía ecoamigable con el ambiente y podría cumplir tareas generales de mantenimiento con una adecuada capacitación profesional. La electrificación de zonas rurales no necesariamente comprende proyectos de alto presupuesto; existe una amplia gama de dispositivos que aprovechan la energía de fuentes no convencionales (Juanpera et al., 2021).

PARÁMETROS DEL PROCESO: Iniciando desde el proceso del compostaje, los responsables de la transformación son los microorganismos, todos aquellos factores que pueden limitar su desarrollo serán limitantes también del propio proceso. Para conseguir que la transformación se realice en condiciones controladas (aeróbica y termófila) hace falta una serie de requisitos, los cuales van en función al desarrollo de los microorganismos.

IV. CONCLUSIONES

El compostaje es un proceso de bioconversión amigable con el ambiente de residuos sólidos orgánicos en el que su producto final, el compost, puede emplearse para mejorar el crecimiento de las plantas e incrementar la fertilidad del suelo, siendo así, una alternativa al uso excesivo de compuestos agroquímicos. Además, resaltar la valorización de residuos orgánicos alimentarios que es fundamental para la minimización del volumen de residuos sólidos orgánicos que tienden a terminar en botaderos y rellenos sanitarios.

Los parámetros físicos y químicos que influyen en el proceso de compostaje son el pH, el porcentaje de humedad, la relación C/N, la temperatura y el tamaño de partícula. Los valores de cada uno de ellos dependen de la matriz empleada y de las fases mesófila, termófila y enfriamiento del proceso. Sus valores óptimos se encuentran en 7.8, 60%, 30:1, 60°C y 4 cm, respectivamente. El valor del pH influye en la actividad y sensibilidad de los microorganismos. La humedad debe ser menor de 70% para evitar lixiviados. La relación C/N no debe ser baja porque ralentiza el proceso. La temperatura es un indicador de actividad microbiana y en parte depende de esta variable el éxito del compost. El tamaño de partícula debe brindar el área superficial necesaria para una óptima degradación por parte de los microorganismos.

V. AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Alberto Huiman Cruz, docente del curso de Gestión de Residuos de la maestría GISSOMA de la UNMSM, por su acompañamiento y aportes durante la elaboración del presente manuscrito

VI. REFERENCIAS

- Awasthi, S., Sarsaiya, S., Awasthi, M., Liu, T., Zhao, J., Kumar, S., & Zhang, Z. (2020). Changes in global trends in food waste composting: Research challenges and opportunities. *Bioresource Technology*, 299, 122555. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122555>
- Ayeleru, O., Okonta, F., & Ntuli, F. (2018). Municipal solid waste generation and characterization in the City of Johannesburg: A pathway for the implementation of zero waste. *Waste Management*, 79, 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.026>
- Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., & Thami Alami, I. (2017). Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*, 8(2), 141–158. <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z>
- Barragán, A. (2018). «El autoabastecimiento energético en los países en vías de desarrollo en el marco del metabolismo urbano: caso Cuenca, Ecuador». [Tesis de Maestría]. Universidad de Jaén. <http://ruja.ujaen.es/jspui/handle/10953/936>
- Barrena, R., Pagans, E. I., Artola, A., Vázquez, F., & Sánchez, A. (2006). Co-composting of hair waste from the tanning industry with de-inking and municipal wastewater sludges. *Biodegradation*, 18(3), 257–268. <https://doi.org/10.1007/s10532-006-9060-z>
- Carmona-Cabello, M., Leiva-Candia, D., Castro-Cantarero, J., Pinzi, S., & Dorado, M. (2018). Valorization of food waste from restaurants by transesterification of the lipid fraction. *Fuel*, 215, 492–498. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.11.096>
- Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., Sanchez, A. (2018). Composting of food wastes: status and challenges. *Bioresour. Technol.* 248, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.133>
- Chai, E.W., H'ng, P.S., Peng, S. H., Wan-Azha, W. M., Chin, K. L., Chow, M. J., & Wong, W. Z. (2013). Compost feedstock characteristics and ratio modelling for organic waste materials co-composting in Malaysia. *Environmental Technology*, 34(20), 2859–2866. <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.795988>
- Chia, W.Y., Chew, K.W., Le, C.F., Lam, S.S., Chee, C.S., Luan, M.S., & Show, P.L. (2020). Sustainable Utilization of Biowaste Compost for Renewable Energy and Soil Amendments. *Environmental Pollution*, 115662. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115662>
- Du, C., Abdullah, J., Greetham, D., Fu, D., Yu, M., Ren, L., Lu, D. (2018). Valorization of food waste into biofertiliser and its field application. *Journal of Cleaner Production*, 187, 273–284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.211>
- Eiland, F., Klamer, M., Lind, A.-M., Leth, M., & Bååth, E. (2001). Influence of Initial C/N Ratio on Chemical and Microbial Composition during Long Term Composting of Straw. *Microbial Ecology*, 41(3), 272–280. <https://www.jstor.org/stable/4251820>
- FAOSTAT. (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/TCL>

- Garita, N., & Rojas, J. (2013). Guía práctica para el manejo de los residuos orgánicos utilizando composteras rotatorias y lombricompost. 1-16. Universidad Nacional de Costa Rica. <https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Haynes, R., Belyaeva, O., & Zhou, Y. (2015). Particle size fractionation as a method for characterizing the nutrient content of municipal green waste used for composting. *Waste Management*, 35, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.002>
- Hemalatha, B., 2013. Comparative evaluation of biodegradability of yard waste and fruit waste with industrial effluents by vermicomposting. *Int. J. Adv. Eng. Technol.* 2 (2), 36–39. <https://www.technicaljournalonline.com/ijaers/VOL%20II/IJAERS%20VOL%20II%20ISSUE%20II%20JANUARY%20MARCH%202013/272.pdf>
- Hoornweg, D; & Bhada-Tata, P. (2012). What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Urban development series; knowledge papers. The World Bank, p.15.. *Technol.* (2) , 36 – 39. <https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documentos-reports/documentdetail/302341468126264791/What-a-waste-a-global-review-of-solid-waste-management>
- INEI. (2020). INEI – Acceso a los servicios básicos en el Perú, 2013-2019. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1756/
- Jara-Samaniego, J., Pérez-Murcia, M., Bustamante, M., Paredes C., Pérez-Espinosa A., Gavilanes-Terán, I., ... Moral, R.(2017) Development of organic fertilizers from food market waste and urban gardening by composting in Ecuador. *PLoS ONE*, 12(7): e0181621. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181621>
- Kannah, RY, Merrylin, J., Devi, TP, Kavitha, S., Sivashanmugam, P., Kumar, G. y Banu, JR (2020). Valorización de residuos alimentarios: Biocombustibles y recuperación de productos de valor añadido. *Informes de tecnología de biorecursos*, 11 , 100524. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100524>
- Julio, I., Peláez, C., & Molina, F. (2016, enero). Evaluación de la co-digestión anaerobia de lodos de aguas residuales municipales con residuos de alimentos. *ION: Revista Digital*, 29 (1), 63-70. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016005>
- Külcü, R., & Yaldiz, O. (2014). The composting of agricultural wastes and the new parameter for the assessment of the process. *Ecological Engineering*, 69, 220–225. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.097>
- Liu, W.-J., Zeng, F.-X., Jiang, H., & Zhang, X.-S. (2011). Preparation of high adsorption capacity bio-chars from waste biomass. *Bioresource Technology*, 102(17), 8247-8252. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.014>
- López, M.J., Masaguer, A., Paredes, C., Roca, L., Ros, M., Salas, M. Boluda, R., 2015b. De Residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad. III. 1. Residuos orgánicos y agricultura intensiva. Ed. Mundi-Prensa. 41-67, 313 p. <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484767077/residuos-organicos-y-agricultura-intensiva-iii-1>
- Luna-Vega, A., García-Sahagún, M., Rodríguez-Guzmán, E., & Pimienta-Barrios, E. (2015). Calidad agronómica de composta con residuos de cítricos. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 2(3), 354-361 https://www.ecorfan.org/bolivia/rj_cnya_iii.php
- Macua, J. et al. (2009). Utilización de cubiertas en el tomate de industria en Navarra. *Navarra Agraria*. No. 179. 29 -38. https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/navarraagraria_acolchado_tomate_ind
- Magazzino, C., Mele, M., & Schneider, N. (2020). The relationship between municipal solid waste and greenhouse gas emissions: Evidence from Switzerland. *Waste Management*, 113, 508-520. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.033>
- MINAM. (2019). Situación actual de la gestión de los residuos sólidos municipales. XIX Reunión Anual para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales, 6 de diciembre de 2019. Lima: Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/novedades/xix-reunion-anual-gestion-integral-residuos-solidos-municipales>
- Mladenov, M. (2018). Chemical composition of different types of compost. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 53(4), 712-716. https://journal.uctm.edu/node/j2018-4/11_18-25_p_712-716.pdf
- Pandit, L., Sethi, D., Pattanayak, S., & Nayak, Y. (2020). Bioconversion of lignocellulosic organic wastes into nutrient rich vermicompost by *Eudrilus eugeniae*. *Bioresource Technology Reports*, 12, 100580. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100580>
- Pérez, J., D. Borge y J. Agudelo (2010). Proceso de gasificación de biomasa: una revisión de estudios teórico-experimentales. En la revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia 52, 95-107. <https://www.redalyc.org/pdf/430/43016342009.pdf>
- Planta de Compostaje – SNP. (2011). Sociedad Nacional de Pesquería. <https://www.snp.org.pe/responsabilidad-social/planta-de-compostaje/>
- Orihuela, J. (2018). Un análisis de la eficiencia de la gestión municipal de residuos sólidos en el Perú y sus determinantes. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima, Perú. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/investigaciones/residuos-solidos.pdf>
- Rahman, M., Sadi, T., Ahmad, A., Masri, I.N., Yusoff, M., Kamaruddin, H., Shakri, N., Hamid, M., Malek, R. (2020). Inventory and composting of yard waste in Serdang, Selangor, Malaysia. *Heliyon*, 6(7), e04486. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04486>
- Reyes-Torres, M., Oviedo-Ocaña, E. R., Dominguez, I., Komilis, D., & Sánchez, A. (2018). A systematic review on the composting of green waste: Feedstock quality and optimization strategies. *Waste Management*, 77, 486-499. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.037>
- Rodríguez, J., Ventura, E., López, M., & Pérez, V. (2017, agosto). Obtención de biogás a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante la digestión anaerobia mesofílica. *Energía Química y Física: Revista Digital*, 4 (12), 34-43. https://www.ecorfan.org/bolivia/rj_equif_xii.php
- Rojas, J., Benavides, D., & Rodríguez, A. (2012). Diagnóstico sobre residuos sólidos orgánicos en la Universidad Nacional.

- Revista Mensual sobre la Actualidad Ambiental, (220), 26-30. https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/taianacan-items/5/22951/220_26-30.pdf
- Romero, C. (2017). Propuesta para el aprovechamiento de los residuos alimenticios para producir composta en la colonia independencia de la ciudad de Coatzacoalcos (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.9.195/ptd2017/junio/0760828/0760828.pdf>
- Shi, Y., Ge, Y., Chang, J., Shao, H. y Tang, Y. (2013). Biomasa residual de jardín para la producción de energía renovable y sostenible en China: potencial, desafíos y desarrollo. *Renovar Sostenener Energy Rev*, (22), 432 – 437. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.003>
- Singh, A. (2019). Managing the uncertainty problems of municipal solid waste disposal. *Journal of Environmental Management*, 240, 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.025>
- Sinha, R. K.; Valani, D.; Chauhan, K. and Agarwal, S. 2010c. Embarking on a second green revolution for sustainable agriculture by vermiculture biotechnology using earthworms: Reviving the dreams of Sir Charles Darwin. *J. Agric. Biotechnol. Sust. Develop.* 2(7):113-128 <http://dx.doi.org/10.4236/ti.2010.13019>
- Sosa, N., Orcellet, J., & Gambaudo, S. (2016). Uso agronómico de residuos orgánicos de origen animal. En *Resiliar XXIV Congreso AAPRESID*. Córdoba, Argentina. <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2016/09/14.pdf>
- Su, L. L.; Ta, Y. W.; Pei, N. L. and Pui, Y. S. K. 2015. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *J. Sci. Food Agric.* <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>
- Towercito. (2022, diciembre 30). Planta de Compostaje o Composting. Tower and Tower. <https://towerandtower.com.pe/planta-de-compostaje-o-composting/>
- Valenzuela, R., & León, G. (2015). Lima Compost: Ayudando al medio ambiente a través del compostaje. Plataforma Bio-emprender. <https://bio-emprender.iica.int/iica-club/lima-compost-ayudando-al-medio-ambiente-a-traves-del-compostaje/>
- Vandermeersch, T., Alvarenga, R., Ragaert, P., & Dewulf, J. (2014). Environmental sustainability assessment of food waste valorization options. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.03.008>
- Voběrková, S., Maxianová, A., Schlosserová, N., Adamcová, D., Vršanská, M., Richtera, L., ... Vavěrková, M. D. (2020). Food waste composting - Is it really so simple as stated in scientific literature? – A case study. *Science of The Total Environment*, 723, 138202. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138202>
- Waqas, M., Nizami, A. S., Aburizaiza, A. S., Barakat, M. A., Rashid, M. I., & Ismail, I. M. I. (2018). Optimizing the process of food waste compost and valorizing its applications: A case study of Saudi Arabia. *Journal of Cleaner Production*, 176, 426–438. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.165>
- Wang, K., Zhao, X., Peng, B., & Zeng, Y. (2020). Spatio-temporal pattern and driving factors of municipal solid waste generation in China: New evidence from exploratory spatial data analysis and dynamic spatial models. *Journal of Cleaner Production*, 270, 121794. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121794>
- Zhang, L., & Sun, X. (2016). Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. *Waste Management*, 48, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.032>
- Zhang, J., Zeng, G., Chen, Y., Yu, M., Yu, Z., Li, H., ... Huang, H. (2011). Effects of physico-chemical parameters on the bacterial and fungal communities during agricultural waste composting. *Bioresource Technology*, 102(3), 2950–2956. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.089>

Contribución de autoría

Conceptualización: Bélgica Dione Pérez Huamán; Curación de datos: Luis Miguel Linares Nima; Análisis formal: Nelly Liliana Pérez Pérez; Metodología: Bélgica Dione Pérez Huamán; Administración del proyecto: Nelly Liliana Pérez Pérez; Visualización: Luis Miguel Linares Nima; Redacción - borrador original: Bélgica Dione Pérez Huamán; Redacción - revisión y edición: Nelly Liliana Pérez Pérez.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses