



CARACTERÍSTICAS CAMBIANTES DURANTE EL COMPOSTAJE Y VALORES INDICATIVOS DE CALIDAD EN EL PRODUCTO FINAL

CHANGING CHARACTERISTICS DURING COMPOSTING AND INDICATIVE QUALITY VALUES OF THE FINAL PRODUCT

Lucía Socorro Gutiérrez-González^{1a}, Dámaris Leopoldina Ojeda-Barríos^{1b}, Graciela Dolores Ávila-Quezada^{1c} y Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez^{1d*}

^{1a} Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Ciudad Universitaria Campus 1 s/n, Chihuahua, Chihuahua, CP 31310, México

<https://orcid.org/0000-0003-1028-4089>

^{1b} Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Ciudad Universitaria Campus 1 s/n, Chihuahua, Chihuahua, CP 31310, México

<https://orcid.org/0000-0001-6559-4485>

^{1c} Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Ciudad Universitaria Campus 1 s/n, Chihuahua, Chihuahua, CP 31310, México

<https://orcid.org/0000-0002-9633-152X>

^{1d} Facultad de Ciencias Agrotecnológicas Universidad Autónoma de Chihuahua, Ciudad Universitaria Campus 1 s/n, Chihuahua, Chihuahua, CP 31310, México

<https://orcid.org/0000-0003-1072-7521>

* Autor para correspondencia: aernande@uach.mx

RESUMEN

El suelo es un recurso muy valioso con el que cuenta la humanidad para su subsistencia. En el cumplimiento de la demanda alimentaria, el sector agrícola ha recurrido a la producción intensiva, trayendo como consecuencia una sobreexplotación y degradación del suelo. La incorporación de abonos orgánicos, como la composta, ha resultado ser una buena alternativa para enmendar los daños provocados a este recurso. Sin embargo, el uso de compostas que no cumplen con los estándares de calidad puede causar efectos adversos. Por ende, es de vital importancia conocer los cambios y los criterios que se deben considerar en el proceso de compostaje para la producción de abonos orgánicos de calidad, capaces de aportar sus beneficios a las características físicas, químicas y biológicas del suelo. El objetivo de esta revisión fue recopilar información sobre los cambios en el proceso de compostaje, y los criterios y las metodologías utilizadas para determinar la calidad de las compostas y asegurar los beneficios de su uso.

Palabras clave: Composta, abonos orgánicos, parámetros, físicos, químicos, biológicos.

ABSTRACT

Soil is a very valuable resource that humanity needs for its survival. In order to meet food demand, the agricultural sector has promoted intensive production, resulting in overexploitation and degradation of the soil. The incorporation of organic fertilizers, such as compost, has proved

to be a good alternative to mitigate soil damage. However, the use of composts that do not meet quality standards can cause adverse effects. Therefore, it is of vital importance to know the changes and criteria to be considered in the composting process to produce high-quality organic fertilizers, capable of providing benefits to the physical, chemical and biological characteristics of the soil. The objective of this review was to compile information about changes in the composting process, and criteria and methodologies used to determine the quality of composts and ensure the benefits of their use.

Keywords: Compost, organic fertilizers, parameters, physical, chemical, biological.

INTRODUCCIÓN

El suelo es reconocido cada vez con mayor frecuencia como un importante recurso natural no renovable que debe gestionarse adecuadamente para el desarrollo sostenible (Ngosong et al., 2019). De acuerdo con Yang et al. (2020) la salud del suelo es su capacidad para funcionar dentro de los ecosistemas, mejorando así la sostenibilidad ambiental y la salud de la humanidad, apoyando la productividad de las plantas y los animales. En este sentido, la incorporación de abonos orgánicos (AO) ha contribuido a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Cervera-Mata et al., 2018; Cesaro et al., 2019; Islam et al., 2020), al mejorar la infiltración y capacidad de retención de humedad (Lepsch et al., 2019), promover la estructuración y aireación (Adugna et al., 2016), estimular la actividad microbiana, controlar el pH (Cervera-Mata et al., 2018), y ser un aporte de nutrientes dependiendo de las características de la materia prima de la cual procede (Villalobos et al., 2022). Además, los abonos orgánicos pueden biorremediar la contaminación por metales pesados (Irfan et al., 2021), así como prevenir la lixiviación de nutrientes y la erosión del suelo (Mahongnao et al., 2023).

En este aspecto, la composta refiere a un AO que está teniendo especial auge por su capacidad de devolver un determinado porcentaje de materia orgánica (MO) al suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Castelo-Gutiérrez et al., 2016), considerándose una práctica agrícola que contribuye a la sustentabilidad al mantener los suelos sanos y fértiles (Bonanomi et al., 2020), además de representar una alternativa para la fertilización de los cultivos y mitigar los problemas ocasionados por el uso intensivo de insumos químicos tradicionales (Álvarez et al., 2019; Aguilar-Paredes et al., 2023).

Sin embargo, el uso de compostas inestables o inmaduras producto de un proceso de transformación mal realizado afecta el ambiente del suelo (Cui et al., 2017), ya que su continua descomposición puede inducir a condiciones

anaeróbicas debido a que la biomasa microbiana utiliza el oxígeno de los poros del suelo para descomponer el material orgánico, lo que ocasiona competencia con el sistema radicular de las plantas (Butler et al., 2001; Silva et al., 2016). Además, pueden ser fuente de enfermedades (Cui et al., 2017) y provocar la deficiencia de nitrógeno en los cultivos (Butler et al., 2001), e inhibir el crecimiento de las plantas debido a los efectos fitotóxicos por la producción de diversas sustancias como el amonio, ácidos orgánicos volátiles, metales pesados, sales y compuestos fenólicos que se sintetizan durante la descomposición continua de los residuos en el suelo (Huerta et al., 2015).

Lo anterior demuestra la importancia de incorporar al suelo AO de calidad. Sin embargo, resulta difícil describir una definición absoluta de este concepto ya que se deben tomar en cuenta diversos aspectos (Soliva y López, 2004). Matsui et al. (2016) propusieron diversos indicadores para estimar su madurez y estabilidad, pero ninguno de ellos es operativo aisladamente, lo que hace imprescindible la utilización combinada de varios de ellos (López y Sainz, 2011). Por lo anterior, el objetivo de este artículo de revisión fue recopilar, organizar y cotejar información relevante sobre los cambios ocurridos durante el proceso de compostaje, los valores de referencia y técnicas de valoración de parámetros físicos, químicos y biológicos, como indicadores de calidad de las compostas.

MATERIALES Y METODOS

La revisión bibliográfica se centró en la búsqueda de los criterios utilizados para evaluar la calidad de los AO, las metodologías utilizadas y los valores de los índices establecidos. Las palabras clave utilizadas fueron: abonos orgánicos, compostaje, composta, calidad, caracterización, evaluación, índices, madurez, estabilidad y los nombres de cada uno de los parámetros que influyen en la calidad de las compostas. La búsqueda se hizo en idioma español e inglés en las bases de datos de Science Direct, Springer Link, MDPI y Scielo, considerando artículos

publicados principalmente entre los años 2014 al 2023, con excepción de algunas publicaciones anteriores que son relevantes en el tema del presente trabajo. Asimismo, se consultaron libros y normas oficiales relacionadas a la calidad de AO. Se utilizó como motor de búsqueda web Google Académico para contribuir a la obtención de la información.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de compostaje y la composta

El compostaje es un proceso bio-oxidativo mediante el cual intervienen diversos microorganismos como bacterias y hongos que descomponen los residuos orgánicos (RO) en materiales estables (Basil et al., 2020), en el cual se distinguen las fases, mesófila, termófila, de enfriamiento y de madurez (Meena et al., 2021b). La eficiencia obtenida tanto del proceso de compostaje (PCP) como el de la calidad de la composta obtenida depende de las características de los materiales de partida y del adecuado manejo del proceso (Soto-Paz et al., 2019).

Calidad a través de la madurez y estabilidad de las compostas

La madurez y estabilidad son los principales requisitos que los AO deben cumplir para ser aplicados de forma segura al suelo (Castaldi et al., 2008). Los términos madurez y estabilidad no son sinónimos, ambos hacen referencia a conceptos diferentes (Bazrafshan et al., 2016; Torti et al., 2019). Estabilidad puede definirse como el grado de descomposición de la MO, la cual está en función del nivel de actividad de la biomasa microbiana, determinada por medio del oxígeno (O₂) consumido, el dióxido de carbono (CO₂) desprendido o el calor producido (Moreno y Moral, 2008). Esto está relacionado con la disminución de carbono degradable, es decir, cuanto menor sea la degradabilidad y la actividad microbiana, mayor será la estabilidad (Torti et al., 2019).

En tanto que madurez se refiere al grado de transformación del material y a la ausencia de sustancias fitotóxicas como los ácidos orgánicos (Butler et al., 2001; Soliva, 2011; Torti et al., 2019), de altas concentraciones de sales (Huerta et al., 2015) y presencia de sustancias promotoras de germinación y crecimiento (Martínez-Balmori et al., 2014), por lo que el grado de madurez de las compostas evita que se puedan generar problemas de contaminación y toxicidad a las plantas (García et al., 2014). La madurez se evalúa por una serie de parámetros físicos, químicos, microbiológicos y por su fitotoxicidad (Millán et al., 2018).

Características cambiantes durante el compostaje y evaluación de la calidad de las compostas obtenidas

a) Características físicas

Color. El color es una de las características más significativas del proceso de biodegradación de los RO, ya que evidencia cambios a medida que transcurre el tiempo (Osorio et al., 2017) y el PCP avanza, debido a la formación gradual de grupos cromóforos por la síntesis de melanoidinas como consecuencia de la humificación de la MO (Mohedo, 2004).

Olor. El olor desagradable que presentan algunos RO se debe principalmente a la presencia de ácidos orgánicos de bajo peso molecular como el ácido acético y en menor medida los ácidos propiónicos, butírico, valérico y caproico (Iglesias-Jiménez, 2014), así como sulfuro de hidrógeno (Andraskar et al., 2021). La emisión de olores ocurre en mayor medida al inicio del PCP debido a que durante la fase termófila se presentan reacciones anaerobias que producen piridina y piracina, el olor de estos compuestos desaparece cuando el producto final llega a la madurez (Iglesias-Jiménez, 2014), en que se percibe un olor terroso debido a la generación de geosmina (Fisher et al., 2019).

Granulometría. Es una característica importante debido a que la transformación durante el proceso de degradación genera cambios evidentes en el tamaño de partículas (Osorio et al., 2017), lo que determina el intercambio de gases y agua, así como la capacidad de retención de esta última (Crespo et al., 2018). Las partículas mayores a 1 mm dan lugar a poros grandes aportando aireación y suministro de oxígeno, y las menores a 1 mm conforman poros medianos a pequeños proporcionando retención de agua (Barbaro et al., 2019). Si el tamaño de partícula es demasiado pequeño promoverá la formación de zonas anaeróbicas, ocasionado la producción de sulfuro de hidrógeno, metano y otros gases de efecto invernadero (Yasmin et al., 2022; Xie et al., 2023).

Temperatura. Uno de los principales parámetros para el seguimiento del PCP es la temperatura debido a su papel clave en la degradación de la MO (Zhao et al., 2016; Waqas et al., 2018). Es un factor que varía en función de la actividad biológica de los microorganismos implicados en el proceso (Delgado et al., 2019), y que marca las cuatro fases: la fase mesófila donde la temperatura aumenta hasta 45° C; la fase

termófila que alcanza una temperatura máxima de 75° C (Lahlou et al., 2017), en esta fase llamada de higienización se eliminan patógenos como la *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., quistes y huevos de helmintos, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malas hierbas. Posteriormente la temperatura desciende entre 40° a 45° C en la fase de enfriamiento, y finalmente en la fase de maduración en que la temperatura oscila entre 20° a 30° C (Meena et al, 2021b), por lo que se ha sugerido que el rango de temperatura óptimo para el compostaje es de 40° a 65° C (Assandri et al., 2020).

Los valores de referencia y las técnicas de análisis de las características que se incluyen en la calidad física de una composta se muestran en la Tabla 1.

b) Características químicas

Materia orgánica (MO) y Carbono orgánico total (COT). El contenido y la composición de la MO en la composta varía de acuerdo al material orgánico utilizado. La MO se divide en dos formas: MO soluble, que incluye azúcares, aminoácidos y ácidos grasos, y MO insoluble que es principalmente degradable, que incluye principalmente lignocelulosa, proteínas macromoleculares y organismos microbianos muertos y que puede transformarse en MO soluble. El contenido de MO en la composta refleja el contenido de nutrientes del producto final (Xie et al., 2023). El COT es el principal componente de la MO que permite evaluar su evolución ya que su concentración disminuye rápidamente con el PCP (López-Clemente et al., 2015).

Carbono soluble en agua (CSA). El CSA representa la fracción del COT más fácilmente biodegradable, sus principales compuestos son los azúcares, ácidos orgánicos de bajo peso molecular, aminoácidos y fenoles (Karak et al., 2017), que constituyen la principal fuente de energía de los microorganismos para la producción de otras moléculas como proteínas, enzimas y polisacáridos (García-Sánchez et al., 2017).

Índice de degradabilidad. De acuerdo con la biodegradabilidad los residuos utilizados en el PCP pueden ser clasificados en biodegradables y moderadamente degradables (Ayilara et al., 2020). En los biodegradables se pueden mencionar residuos de cocina, residuos de jardín, residuos vegetales, estiércol de animales y desechos agrícolas (Bharadwaj et al., 2015; Parkar et al., 2021); los residuos moderadamente degradables contienen componentes de textura resistente, entre éstos están la madera y el cartón (Sandoval-Cobo, 2020).

Por otro lado, la fracción principal de los RO es la lignocelulosa (Finore et al., 2023) conformada principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (H'ng, 2018), cuya degradación y humificación es vital para aumentar las sustancias húmicas y la calidad de la composta (Zhu et al., 2021); si no se degrada lo suficiente, la aplicación de la composta provocará graves enfermedades en los cultivos y generará raíces podridas (Liu et al., 2022).

Lípidos. Durante el PCP la evolución de los lípidos totales proporciona información sobre el estado de madurez y estabilidad de la MO

Tabla 1. Técnicas de análisis y valores de referencia de los parámetros físicos para una composta de calidad.

Table 1. Analysis techniques and reference values of physical parameters for quality compost.

Parámetro	Valor de Referencia	Método de determinación	Fuente
Color	Marrón oscuro, pardo oscuro casi negro	Visual	Oviedo-Ocaña et al. (2015), Parihar y Choudhary (2022).
Olor	“Tierra de bosque” o “tierra húmeda”	Olfativa	Iglesias-Jiménez (2014), Oviedo-Ocaña et al. (2015).
Granulometría	≤30,0 mm, 0,25 – 2,0 mm	Tamizado	Bárbaro et al. (2019), NMX-AA-180-SCFI-2018, Zhang y Sun 2016.
Temperatura	Estable	Termómetro de pistilo y prueba de autocalentamiento	Iglesias-Jiménez (2014), Koenig y Bari (2000).

(Cunha-Queda et al., 2007). Los lípidos contienen altos niveles de energía que constituyen una gran ventaja en los procesos donde las temperaturas termófilas son deseables para la reducción de patógenos (Lemus y Lau, 2002). Además, proporciona indicaciones de cambios generales en la estructura y la renovación de la biomasa microbiana (Amir et al., 2008).

Fracción húmica y relación de la fracción húmica. Las sustancias húmicas (SH) son un indicador decisivo de la madurez de los compuestos orgánicos heterogéneos estables del humus con un alto peso molecular, que define la tasa de descomposición biológica durante el PCP (Barrena et al., 2006; Smidt et al., 2007). Su cuantificación es fundamental para la evaluación de la calidad, estabilidad y madurez de los AO (Rastogi et al., 2019; Hasini et al., 2020). Se dividen de acuerdo a su solubilidad en tres componentes: ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) y huminas (HUM) (Jarukas et al., 2021). Los AF son solubles en agua, los AH solo son solubles en condiciones alcalinas y las HUM representan la fracción insoluble (Zingaretti et al., 2018). Las características físicas y químicas de AH, AF y HUM dependen de factores como el origen del material orgánico (Jarukas et al., 2021), el tiempo de exposición a la intemperie y al proceso de degradación microbiana (Dores-Silva et al., 2018).

Densidad óptica E4/E6. La densidad óptica de una solución referida como E4/E6 evalúa la calidad, el grado de condensación y el grado de aromatización de la MO de la composta (Moharana y Biswas, 2016; Tamakloe et al., 2020; Martín et al., 2023). Los espectros UV-Visible tienen diferentes regiones de absorción: a 465 nm indica el inicio del proceso de humificación por despolimerización de moléculas orgánicas complejas y a 665 nm indica el material humificado (Zittel et al., 2018) con alto contenido de oxígeno y grupos aromáticos (Tahiri et al., 2016).

Los valores bajos de densidad óptica indican un alto grado de condensación de los compuestos húmicos aromáticos, con alto peso molecular y baja acidez, característicos de la fracción de AH. En caso contrario, una proporción alta indica la presencia de compuestos alifáticos, con bajo peso molecular y alta acidez, características de la fracción de AF (Martín et al., 2023), por lo tanto, cuanto menor sea la proporción, más madura será la composta y más grandes y complejas serán las partículas de humus (Tamakloe et al., 2020; Moharana y Biswas, 2016).

Conductividad eléctrica (CE). Se debe tomar en cuenta la CE en los AO para evitar posibles problemas de salinización del suelo o de toxicidad

en las plantas (Jaramillo, 2002). Durante el CPC es inevitable la concentración de sales debido a la descomposición de MO compleja (Chan et al., 2016).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC). Los compuestos húmicos del material orgánico tienen una alta capacidad para adsorber iones cargados positivamente, que posteriormente se intercambian fácilmente con otros cationes en los mismos sitios de adsorción, lo cual durante el PCP se incrementa a medida que los compuestos orgánicos se humifican y se van formando los grupos funcionales carboxilo y fenólicos (Wichuk y McCartney, 2013).

Relación entre capacidad de intercambio catiónico/carbono orgánico total (CIC/COT). Durante el PCP se produce la formación de SH de los residuos orgánicos que se humifican (Karak et al., 2017), durante este proceso se conduce a la formación de grupos funcionales influenciados por la oxidación de la MO, incrementando la CIC (M'sadak et al., 2016; Pelegrín et al., 2018).

Relación Carbono/Nitrógeno (C/N). La relación C/N es un indicador importante tanto como parámetro de inicio del PCP como para la calidad del producto final (Wang et al., 2015; Wei et al., 2019). De acuerdo con Silva et al. (2014) una relación C/N inicial alta favorece la oxidación de la MO, lo que conlleva a una rápida estabilización, mientras que una baja relación inicial de C/N ocasiona la acumulación de MO parcialmente oxidada, teniendo como resultado una composta final poco madura y pérdidas de N. Se considera que la relación inicial óptima de C/N de los residuos de partida debe estar en el rango de 25/1 a 30/1. Durante el PCP la relación C/N tiende a disminuir debido a que la tasa de mineralización del N orgánico es menor que la del C orgánico (Yang et al., 2015).

Nitrógeno (N) y relación amonio/nitrato ($N-NH_4^+/N-NO_3^-$). La relación $N-NH_4^+/N-NO_3^-$ también conocida como índice de nitrificación, es un indicador tanto de buena calidad como de la finalización del proceso de maduración (Cunha-Queda et al., 2007; Siles-Castellano et al., 2020). Cuanto más bajo sea el índice, mayor será su grado de madurez (Bernal et al., 2017). Durante las primeras etapas del PCP se libera $N-NH_4^+$ derivado de la degradación de proteínas, posteriormente durante la maduración se nitrifica transformándose a $N-NO_3^-$ (Kucbel et al., 2019), de tal forma que cuando la concentración de $N-NH_4^+$ disminuye y la concentración de $N-NO_3^-$ aumenta se considera que el material compostado está listo

para aplicarse (Finstein y Miller, 1985).

Además, una parte del N mineral se reincorpora al metabolismo microbiano activo durante el proceso, otra parte se incorpora a la MO en su humificación y parte es liberada en forma de N inorgánico (Larsen y McCartney, 2000). Al final del PCP el proceso de mineralización se vuelve predominante, observándose un aumento en la concentración total de N en la composta madura (Azim et al., 2018). La concentración de nutrientes minerales que se obtienen en un abono orgánico depende en gran medida de los materiales utilizados (Villalobos et al., 2022).

Fósforo (P). La mayoría de los microorganismos solo pueden degradar una parte del P orgánico durante el PCP. Las características del P en la composta se verán influidas por los tipos de residuos utilizados además de los PCP (Xie et al., 2023). En este aspecto, Millán et al. (2017) evaluaron compostas a partir de tres mezclas de residuos de mercado con estiércol de gallina, estiércol de caballo y estiércol de vaca, por separado, obteniendo una concentración de P de 0,07, 1,19 y 0,06% respectivamente, mientras que Radziemska et al. (2019) en composta de desechos de pescado y corteza de pino obtuvieron 0.26%.

Potasio (K). Es uno de los parámetros esenciales en la calidad de la composta (Margaritis et al., 2018). El aumento del contenido de K en el proceso puede ser a causa de la reducción de la MO (Jalili et al., 2019), y su alto contenido en la composta es una ventaja cuando se aplica a suelos ligeramente ácidos (Afriliana et al., 2023). Millan et al. (2017) obtuvieron valores de 1,54, 1,46, 1,67% de K en compostas producidas a partir de estiércol de gallina + residuos de mercado, estiércol de caballo + residuos de mercado, y estiércol de vaca + residuos de mercado, respectivamente. Por otro lado, Tibu et al. (2019) en composta a partir de mezcla de residuos de frutas, aserrín, estiércol porcino y paja de arroz, encontraron 0,39% de K, sin embargo, en esta misma mezcla al agregarle residuos de alimentos la concentración de K fue de 2,30%.

Micronutrientes. La calidad de las compostas se define por la cantidad de nutrientes (Jodar et al., 2017). La disponibilidad de micronutrientes dependerá de la naturaleza de los residuos orgánicos utilizados, así como del PCP al que sean sometidos (Rodríguez et al., 2016; Rodas-Gaytán et al., 2019; Álvarez-Sánchez et al., 2021; Villalobos et al., 2022).

Elementos potencialmente tóxicos (EPT). Los EPT son elementos naturales que contienen un

peso atómico alto y una densidad superior a $4,0 \text{ g cm}^{-3}$, los cuales interfieren con las actividades microbianas del suelo y el crecimiento de las plantas (Swati y Hait, 2017), y debido a que tienden a acumularse en sistemas biológicos, representan un riesgo para los ecosistemas y la salud humana (González-Márquez et al., 2021). Es por ello que, la concentración de EPT en las compostas deberá estar dentro de los límites especificados por las normas previamente establecidas (Al-Khatib et al., 2023; NMX-AA-180-SCFI-2018).

Los rangos óptimos y las técnicas de análisis de las características que se incluyen en la calidad química de una composta se muestran en la Tabla 2.

c) Características biológicas

Consumo de O_2 /emisión de CO_2 . En el inicio del PCP existe MO más fácilmente degradable por lo que la absorción de O_2 y emisión de CO_2 por los microorganismos es más rápido. Cuando la composta se encuentra estable, hay MO menos degradable por lo que la actividad de los microorganismos disminuye (Mengqi et al., 2021). La relación entre la liberación de CO_2 frente al consumo de O_2 puede verse afectada por la naturaleza de los materiales (Vandecasteele, 2023).

Microorganismos degradadores. El papel de los microorganismos es clave en el PCP ya que son la fuerza impulsora en la transformación, mineralización y estabilización de la MO (Wei et al., 2019). Dentro de los microorganismos degradadores que se han identificado en el proceso se encuentran: en la fase mesófila bacterias gram negativas (*Pseudomonas*), gram positivas (*Bacillus*, *Lactobacillus*), actinomicetos y los hongos Ascomycota (*Penicillium/Aspergillus*) y Zygomycota (*Mucor*). En la fase termófila las bacterias *Bacillus*, *Thermus*, *Hydrogenobacter*, y actinomicetos *Streptomyces*. En la fase de enfriamiento bacterias gram positivas, actinomicetos y los hongos Ascomycota y Basidiomycota, así como protozoos, nematodos y estramenopilos. En la fase de maduración bacterias gram negativas y actinomicetos, además de los hongos Ascomycota, Zygomycota, Oomycota, algas y nematodos (Casco y Bernat, 2008).

La diversidad de microorganismos constituye un ecosistema que a medida que se va degradando la MO se hace más complejo (Nakasaki et al., 2019), siendo regulada por los parámetros fisicoquímicos, principalmente la relación C/N y la humedad (Wang et al., 2015).

Actividad enzimática deshidrogenasa (DHA). La deshidrogenasa es una enzima intracelular que cataliza reacciones metabólicas, produciendo

Tabla 2. Técnicas de análisis y valores de referencia de los parámetros de químicos para una composta de calidad.**Table 2. Analysis techniques and reference values of chemical parameters for quality compost.**

Parámetro	Valor de Referencia	Método de determinación	Fuente
Materia orgánica (MO) y Carbono orgánico total (COT)	MO >20% y COT >10%,	Método húmedo de Walkley y Black, Método por ignición, Espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS). Espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RMN).	Sánchez-Rosales et al. NMX-AA-180-SCFI-2018, Rivas-Nichorzon y Silva-Acuña (2020), Álvarez et al. (2021), Shen et al. (2023) Torres-Climent et al. (2015).
Carbono soluble	1,7%	Analizador automatizado.	Bernal et al. (1998).
Índice de degradabilidad	< 2,0	Pirofosfato tetrasódico.	Jiménez y García et al. (1992).
Lípidos extraíbles	< 2,5	Solución de cloroformo/ metanol (2/1 v/v).	Dinel et al., (1996), Villar et al. (2016).
Fracción húmica	≥ 3,5	Solubilidad y espectrofotometría infrarroja.	Roletto et al. (1985).
Relación entre sustancias húmicas	> 1,9	Solubilización y precipitación, análisis elemental.	Iglesias y García (1992), Rastogi et al. (2019), Lin et al. (2022).
Relación óptica E4/E6	< 5,0	Espectroscopia UV-Visible.	Zapata-Hernández (2009).
pH	5,5 y 8,5	Extracto en suspensión con CaCl ₂ 0.01 M o agua destilada.	Ravindran et al. (2016), NMX-AA-180-SCFI-2018, Millán et al. (2018), Soto et al. (2021).
Conductividad eléctrica	< 4,0 mS cm ⁻¹	En extracto acuoso.	Millán et al. (2018).
Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)	> 60 meq/100 gr de suelo	Acetato de amonio 1 N pH 7.0.	Crespo et al. (2018), Rosas-Martínez et al. (2021).
CIC/COT	Entre 1,7 a 1,9	Relación entre valores de CIC y COT.	Roig et al. (1988), Jiménez y García et al. (1992).
Relación C/N	< 20/1	Relación entre valores de C y N	Yang et al. (2015), Wang et al. (2017), Crespo et al. (2018).
Relación N-NH ₄ ⁺ /N-NO ₃ ⁻ Nitrógeno	< 0,16 mg kg ⁻¹ De 1–3% para N, P y K. Si la suma de los tres es ≤ 7 %, portar la leyenda “mejorador orgánico”. Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% portar la leyenda “fertilizante orgánico”	Extracción con KCl Kjeldahl	Bernal et al (1998). NMX-AA-180-SCFI-2018, Delgado et al. (2019).
Fósforo		Bray 1	NMX-AA-180-SCFI-2018, Rivas-Nichorzon y Silva-Acuña. (2020).
Potasio		Espectroscopia de absorción atómica, fotometría de llama, electroforesis capilar	NMX-AA-180-SCFI-2018, Rodas-Gaytán et al. (2019), Parihar y Choudhary (2022)

Macronutrientes secundarios y micronutrientes	Ca ²⁺ > 0,02%, Mg ²⁺ > 0,01%, Fe ²⁺ 100 mg kg ⁻¹ , Cu ²⁺ 3 – 3,6 mg kg ⁻¹ , Zn ²⁺ y Mn ²⁺ 40 -50 mg kg ⁻¹	Espectroscopia de absorción atómica y espectrometría de emisión óptica	Neklyudov et al. (2008), Crespo et al. (2018), Salcedo et al. (2017), Álvarez-Sánchez et al. (2021).
Metales pesados	Ni ²⁺ 25 a 90, Cr ²⁺ 70 a 250, Cu ²⁺ 70 a 300, Zn ²⁺ 200 a 500, Cd ²⁺ 0.7 a 2, Pb ²⁺ 45 a 150, As ³⁺ 0,1 a 2, Hg ⁺ 0,4 a 1,5 mg/kg	Digestión con ácido perclórico y Espectroscopia de absorción atómica y fotometría de flama	NMX-AA-180-SCFI-2018 Tibu et al. (2019), González-Márquez et al. (2021).

energía en forma de ATP a través de la oxidación de la MO (Zhang y Sun, 2014; Zhang et al., 2019). Una mayor DHA indica una alta actividad microbiana (Vaverková et al., 2020), mientras que su disminución al final del PCP señala que ya no habrá más descomposición y la composta ha alcanzado la madurez. Se han observado valores al inicio del proceso de 96,3 μ TPF g⁻¹ (Meena et al., 2021a).

Microorganismos patógenos. En AO es un criterio de contaminación y mala calidad sanitaria (Cancino-Méndez et al., 2018). Debido a la diversidad de materiales utilizados en la elaboración de los AO sin regulación sanitaria, se puede presentar un alto contenido de carga microbiana de tipo patógeno (González-Márquez et al., 2021). Por ejemplo, la presencia de *Salmonella*, *Escherichia coli*, huevos de helmintos (Cesaro et al., 2015) y del grupo coliformes.

Fitotoxicidad o índice de germinación (IG). Es uno de los criterios más importantes para evaluar la madurez de la composta (Basil et al., 2020). Se utiliza para observar el comportamiento de la planta bajo la presencia de agentes tóxicos presentes en los AO inmaduros asociados a los contenidos de N-NH₄⁺, ácidos volátiles, sales y de EPT, ya que estas sustancias podrían inhibir la germinación de semillas o el crecimiento de raíces (Urriola et al., 2021). Un IG menor al 50% se consideran altamente fitotóxicas, de 50 a 80% moderadamente fitotóxicas, de 80 a 100% no fitotóxicas, y mayor al 100% son fitoestimulantes (Siles-Castellanos et al., 2020).

Los valores de referencia y las técnicas de análisis de las características biológicas que se consideran en una composta de calidad, se muestran en la Tabla 3.

d) Análisis integral mediante Cromatografía de Pfeiffer en papel circular (CPPC)

De acuerdo con Medina (2018), la CPPC es una técnica de análisis cualitativo muy sencilla desarrollada por Ehrenfried Pfeiffer (1899–1961) capaz de integrar propiedades entre las que se encuentran el contenido de oxígeno, contenido de MO, actividad enzimática y microbiológica, procesos de mineralización y humificación, indicador del nitrógeno enlazado y de formas estables de coloides del humus, abundancia y variedad nutricional disponible, y diferentes factores enzimáticos asociados con la formación de vitaminas, hormonas y otros compuestos orgánicos (Restrepo y Pinheiro, 2011; Kokornaczyk et al., 2017). Al comparar los resultados de los análisis convencionales con los de la CPPC, ha sido posible determinar la calidad de compostas (Gordillo y Chávez, 2010; Chilon y Chilon, 2015; Camacho, 2018).

CONCLUSIONES

La caracterización adecuada de los residuos orgánicos en transformación es una práctica necesaria para la obtención de compostas de calidad. Para ello se han propuesto diversos índices de estabilidad y madurez basados en parámetros físicos, químicos y biológicos, los cuales no pueden ser utilizados individualmente, lo que hace imprescindible la utilización combinada de varios de ellos. Existen evaluaciones que el mismo productor de abonos orgánicos puede realizar, lo que permite ejecutar mejoras en el proceso, monitorear la calidad de la composta que se obtendrá y determinar el momento y su utilización adecuada, lo que favorecerá su uso agrícola.

Se sugiere establecer parámetros diferenciados

Tabla 3. Técnicas de análisis y valores de referencia de los parámetros biológicos para una composta de calidad.**Table 3. Analysis techniques and reference values of biological parameters for quality compost.**

Parámetro	Valor de Referencia	Método de determinación	Fuente
Consumo O ₂ / producción CO ₂	Consumo de O ₂ < 1,0 mg kg ⁻¹ y emisión de CO ₂ < 5,0 mg kg ⁻¹	Prueba Dewar de autocalentamiento y prueba respirométrica	Lasaridi y Stentiford (1998), García et al. (1992), NMX-AA-180-SCFI-2018.
Microorganismos degradadores	Microorganismos degradadores mesófilos y termofilos	Método de placas de dilución, técnica de placa extendida	Rivas-Nichorzon y Silva-Acuña (2020), Nakasaki y Hirai (2017), De Gannes et al. (2017), Nakasaki et al. (2019), Meena et al. (2021a).
Actividad Enzimática Deshidrogenasa	46,3 µTPF g ⁻¹ (Trifenil formazán)	Método TTC (tricloruro de 2,3,5-trifenil-tetrazolio) y colorimetría	
Microorganismos patógenos	<i>Salmonella</i> ausente	Número más probable (NMP) en medio selectivo ISO 7579-1	González-Márquez et al. (2021), NOM 114-SSA1- 1994, NOM 004-SEMAR- NAT-2002, NMX-AA-180- SCFI-2018. ISO, P (2017).
	Coliformes fecales <1000	Número más probable (NMP) en medio selectivo ISO 9308-1 9215B-CD	NOM 113-SSA1-1994, NMX-AA-42-1987, NOM 004-SEMARNAT-2002, NMX-AA-180-SCFI-2018, González-Márquez et al. (2021). ISO, E. (2014). APHA (2005).
	<i>Escherichia coli</i> <1000	NMP Medio selectivo ISO 9308-1 9215B-CD9222D	NMX-AA-42-1987, NMX-AA-180-SCFI-2018. ISO, E. (2014). APHA (2005).
	Huevos de helmintos 1 en 4 g materia seca <i>Enterococo</i> sp.	Método de flotación para biosólidos ISO 7899-2 9215B-CD	NMX-AA-180-SCFI-2018. ISO, H. (2000). APHA (2005). ISO, I (1986).
	<i>Clostridium perfringens</i> > 80%	ISO 6461-2	
Índice de germinación		Bioensayos de germinación con semillas sensibles	Zucconi et al. (1985), Fain et al. (2018), Basil et al. (2020), González-Már- quez et al. (2021).

para los usos diversos de la composta, destino del producto, protección del ambiente y requerimientos del mercado que se pretende atender.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (Conahcyt) de México, por beca otorgada al primer autor para sus estudios de Doctorado en Ciencias Hortofrutícolas.

Contribución de los autores

Todos los autores participaron activamente en la revisión bibliográfica, en la elaboración de la metodología, en la discusión de los resultados y en la revisión y aprobación de la versión final del artículo.

LITERATURA CITADA

- Adugna, G. 2016. A review on impact of compost on soil properties, water use and crop productivity. *Academic Research Journal of Agricultural Science and Research* 4(3):93-104.
- Afriliana, A., F. Erawantini, E. Hidayat, H. Harada, and A. Subagio. 2023. Assessing the beneficial effect of spent coffee ground compost under mustard plants (*Brassica juncea* L.). *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research* 10(4):310-321. DOI: 10.9734/AJAHR/2023/v10i4272
- Aguilar-Paredes, A., G. Valdés, N. Araneda, E. Valdebenito, F. Hansen, and M. Nuti. 2023. Microbial community in the composting process and its positive impact on the soil biota in sustainable agriculture. *Agronomy* 13(2):542. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020542>
- Al-Khatib, I. A., F. M. Anayah, M. I. Al-Sari, S. Al-Madbouh, J. I. Salahat, and B. Y. Jararaa. 2023. Assessing physiochemical characteristics of agricultural waste and ready compost at Wadi al-far'a watershed of Palestine. *Journal of Environmental and Public Health* 2023:13. <https://doi.org/10.1155/2023/6147506>
- Álvarez, V. M., A. Largo, A. S. Iglesias y J. Castillo. 2019. Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria* 10(3):353- 361. doi:10.17268/sci.agropecu.2019.03.05
- Álvarez-Sánchez, A. R., L. T. Llerena-Ramos, and J. J. Reyes-Pérez. 2021. Effect of sugary substances on organic substrates degradation for compost elaboration. *Terra Latinoamericana* 39:1-10. e916 <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.916>
- Amir, S., G. Merlina, E. Pinelli, P. Winterton, J. C. Revel, and M. Hafidi. 2008. Microbial community dynamics during composting of sewage sludge and straw studied through phospholipid and neutral lipid analysis. *Journal of Hazardous Materials* 159(2-3):593-601. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.02.062
- Andraskar, J., S. Yadav, and A. Kapley. 2021. Challenges and control strategies of odor emission from composting operation. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 193:2331-2356. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03490-3>
- APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st (ed) American Public Health Association, Andrew D. Eaton, American Water Works Association, and Water Environment Federation. APHA WEF AWWA. Washington, D.C.1288 p.
- Assandri, D., N. Pampuro, G. Zara, E. Cavallo, and M. Budroni. 2020. Suitability of composting process for the disposal and valorization of brewer's spent grain. *Agriculture* 11(1):2. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010002>
- Ayilara, M. S., O. S. Olanrewaju, O. O. Babalola, and O. Odeyemi. 2020. Waste management through composting: Challenges and Potentials. *Sustainability* 12(11):4456. doi:10.3390/su12114456
- Azim, K., B. Soudi, S. Boukhari, C. Perissol, S. Roussos, and I. Thami Alami. 2018. Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic agriculture* 8:141-158. <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z>.
- Barbaro, L., M. Karlanian, P. Rizzo y N. Riera. 2019. Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 35(2):126-136. doi:10.4067/S0719-38902019005000309
- Barrena, R., E. Pagans, G. Faltys, and A. Sánchez. 2006. Effect of inoculation dosing on the composting of source-selected organic fraction of municipal solid wastes. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology* 81(3):420-425. <https://doi.org/10.1002/jctb.1418>
- Basil, A., A. O. Christopher, O. N. Chinweizu, C. J. Arinze, U. O. Bright, and O. E. Cynthia. 2020. Phyto-toxicity evaluation of agro-waste formulated compost on five different plant seeds. *International Journal of Engineering and Science (IJES)* 9(12):21-26. doi:10.9790/1813-0912012126.
- Bazrafshan, E., A. Zarei, F. K. Mostafapour, N. Poormollae, S. Mahmoodi, and M. A. Zazouli. 2016. Maturity and stability evaluation of composted municipal solid wastes. *Health Scope* 5(1):e33202. doi: 10.17795/jhealthscope-33202

- Bernal, M. P., C. Paredes, M. A. Sánchez-Monedero, and J. Cegarra. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology* 63(1): 91-99. doi:10.1016/S0960-8524(97)00084-9
- Bernal, M. P., S. G. Sommer, D. Chadwick, C. Qing, L. Guoxue, and F. C. Michel Jr. 2017. Current approaches and future trends in compost quality criteria for agronomic, environmental, and human health benefits. *Advances in Agronomy* 144:143-233 <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.002>
- Bharadwaj, A., D. Yadav, and S. Varshney. 2015. Non-biodegradable waste—its impact and safe disposal. *Int. J. Adv. Technol. Eng. Sci.* 3(1):184-191.
- Bonanomi, G., F. de Filippis, M. Zotti, M. Idbella, G. Cesarano, S. Al-Rowaily, et al. 2020. Repeated applications of organic amendments promote beneficial microbiota, improve soil fertility and increase crop yield. *Applied Soil Ecology* 156:103714. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103714>
- Butler, T. A., L. J. Sikora, P. M. Steinhilber, and L. W. Douglass. 2001. Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. *Journal of environmental quality* 30(6):2141-2148. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.2141>
- Camacho, E. C. 2018. Efecto de activadores biológicos locales sobre la microbiota y la calidad del compost en el Centro Experimental de Cota Cota, periodo abril-junio 2018: Eduardo Chilón Camacho. *Apthapi* 4(2):1227-1243.
- Cancino-Méndez, G. M., E. M. Rosales-Uc, and F. G. Herrera-Chalé. 2018. La inocuidad de lixiviados de biofertilizantes factor de calidad para uso en agricultura orgánica. *Revista del Centro de Graduados Instituto Tecnológico de Mérida* 33(72):121-125.
- Casco, J. M. y S. M. Bernat. 2008. Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje. p. 112-139. En J. Moreno Casco y R. Moral Herrero (ed.). *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 570 p
- Castaldi, P., G. Garau, and P. Melis. 2008. Maturity assessment of compost from municipal solid waste through the study of enzyme activities and water-soluble fractions. *Waste Management* 28(3):534-540. doi:10.1016/j.wasman.2007.02.002
- Castelo-Gutiérrez, A. A., H. A. García-Mendivil, L. Castro Espinoza, F. Lares-Villa, M. Arellano-Gil, P. Figueroa-López, et al. 2016. Residual mushroom compost as soil conditioner and bio-fertilizer in tomato production. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 22(2):83-93. doi:10.5154/r.rchsh.2015.06.012
- Cervera-Mata, A., S. Pastoriza, J. Á. Rufián-Henares, J. Párraga, J. M. Martín-García, and G. Delgado. 2018. Impact of spent coffee grounds as organic amendment on soil fertility and lettuce growth in two Mediterranean agricultural soils. *Archives of Agronomy and Soil Science* 64(6):790-804. doi: <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1387651>
- Cesaro, A., A. Conte, V. Belgiorno, A. Siciliano, and M. Guida. 2019. The evolution of compost stability and maturity during the full-scale treatment of the organic fraction of municipal solid waste. *Journal of Environmental Management* 232:264-270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.121>
- Cesaro, A., V. Belgiorno, and M. Guida. 2015. Compost from organic solid waste: Quality assessment and European regulations for its sustainable use. *Resources, Conservation and Recycling* 94:72-79. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.11.003>
- Chan, M. T., A. Selvam, and J. W. Wong. 2016. Reducing nitrogen loss and salinity during struvite food waste composting by zeolite amendment. *Bioresource Technology* 200:838-844. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.093>
- Chilon, C. E. y J. Chilon, M. 2015. Compostaje altoandino, seguridad alimentaria, cambio climático y biorremediación de suelos. *Journal de Ciencia y Tecnología Agraria* 1:43.
- Crespo, M. R., D. R. González E., R. Rodríguez M., J. A. Ruiz C. y N. Durán P. 2018. Caracterización química y física del bagazo de agave tequilero compostado con biosólidos de vinaza como componente de sustratos para cultivos en contenedor. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 34(3):73-382. doi:10.20937/rica.2018.34.03.01
- Cui, H. Y., Y. Zhao, Y. N. Chen, X. Zhang, X. Q. Wang, Q. Lu, and Z. M. Wei. 2017. Assessment of phytotoxicity grade during composting based on EEM/PARAFAC combined with projection pursuit regression. *Journal of hazardous materials* 326:10-17. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.09.059>

- Cunha-Queda, A. C., H. M. Ribeiro, A. Ramos, and F. Cabral. 2007. Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark. *Bioresource Technology* 98(17):3213-3220. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.006>
- De Gannes, V., G. Eudoxie, and W. J. Hickey. 2018. Feedstock carbon influence on compost biochemical stability and maturity. *Compost Science and Utilization* 26(1):59-70. doi:10.1080/1065657X.2017.1362675
- Delgado, M. D. M., K. L. Mendoza L., M. I. González, J. L. Tadeo L., y J. V. Martín S. 2019. Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 35(4):965-977. doi:10.20937/rica.2019.35.04.15
- Dinel, H., M. Schnitze, and S. Dumontet. 1996. Compost maturity: extractable lipids as indicators of organic matter stability. *Compost Science and Utilization* 4(2):6-12. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1996.10701824>
- Dores-Silva, P. R., M. D. Landgraf, and M. O. Rezende. 2018. Humification process in different kinds of organic residue by composting and vermicomposting: have microbioreactors really accelerated the process? *Environmental Science and Pollution Research* 25:17490-17498. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1908-3>
- Fain, V., M. Butti y M. J. Torti. 2018. Índice de germinación como indicador de madurez en compost de residuos de incubación. *Revista de Tecnología Agropecuaria-RTA* 10(37):54-57.
- Finore, I., A. Feola, L. Russo, A. Cattaneo, P. Di Donato, B. Nicolaus, et al. 2023. Thermophilic bacteria and their thermozymes in composting processes: a review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 10(1):7. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00381-z>
- Finstein, M. S., and F. C. Miller. 1985. Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control and cost effectiveness. p. 13-26. In Gasser, J.K.R. (ed). *Composting of Agricultural and Other Wastes*. Elsevier Applied Science Publishers. Barking, UK.
- Fisher, R. M., J. P. Alvarez-Gaitan, and R. M. Stuetz. 2019. Review of the effects of wastewater biosolids stabilization processes on odor emissions. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 49(17):1515-1586. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1579620>
- García, C., T. Hernández, F. Costa, and M. Ayuso. 1992. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters. *Communications in soil science and plant analysis* 23(13-14):1501-1512.
- García, D., L. Lima, L. Ruíz y P. Calderón. 2014. Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de Fincas. *Medio Ambiente y Desarrollo. Revista Electrónica de la Agencia de Medio Ambiente* 14:26.
- García-Sánchez, M., H. Taušnerová, A. Hanč, and P. Tlustoš. 2017. Stabilization of different starting materials through vermicomposting in a continuous-feeding system: Changes in chemical and biological parameters. *Waste Management* 62:33-42. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.008>
- González-Márquez, L. C., R. Félix-Gastélum, J. A. Sandoval-Romero, D. C. Escobedo-Urías, y R.M. Longoria-Espinoza. 2021. Caracterización de biofertilizantes utilizados en el valle agrícola de Guasave, Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana* 39:e851. doi:10.28940/terra.v39i0.859
- Gordillo, F. y Chávez, E. 2010. Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. Tesis de grado. Escuela superior politécnica. Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT). 143 p.
- Hasini, S. E., M. De Nobili, M. El Azzouzi, K. Azim, A. Douaik, M. Laghrour, et al. 2020. The influence of compost humic acid quality and its ability to alleviate soil salinity stress. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 9(1):21-31. doi:10.30486/IJROWA.2020.671213
- H'ng, P. S., E. W. Chai, K. L. Chin, S. H. Peng, W. M. Wan-Azha, I. Halimatun, et al. 2018. Evolución de la materia orgánica a los sesenta días del compostaje de residuos lignocelulósicos de la industria alimentaria en Malasia. *Ciencia y Utilización del Compost* 26(1):16-26. doi:10.1080/1065657X.2017.1342105
- Huerta, E., J. Cruz H., L. Aguirre A., R. Caballero M., y L. F. Pérez H. 2015. Toxicidad de fertilizantes orgánicos estimada por un bioensayo de germinación de lechuga. *Terra Latinoamericana* 33(2):179-185.
- Iglesias-Jiménez, E. 2014. Métodos y parámetros para evaluar la madurez del compost. p. 1-30. En *Aspectos físico-químicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje*. Evaluación de la calidad. Inst. Recursos Naturales y Agroecología de Salamanca (IRNASA-CSIC), Salamanca.

- Irfan, M., M. Mudassir, M. J. Khan, K. M. Dawar, D. Muhammad, I. A. Mian, et al. 2021. Heavy metals immobilization and improvement in maize (*Zea mays* L.) growth amended with biochar and compost. *Scientific Reports* 11(1):18416. doi:10.1038/s41598-021-97525-8.
- Islam, M. S., M. H. Khan, and M. S. Hossain. 2020. Effects of different levels of soil moisture and indigenous organic amendments on the yield of boron rice grown under field condition. *Dhaka University Journal of Biological Sciences* 29(1):87-96. doi:10.3329/dujbs.v29i1.46534.
- ISO, E. 2014. 9308-1. Water quality-Enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria-Part 1: Membrane filtration method for waters with low bacterial background flora. Ankara: Turkish Standards Institution.
- ISO, H. 2000. 7899-2 (2000) Water quality-detection and enumeration of intestinal enterococci, Part 2: membrane filtration method. Organization for Standardization, Geneva.
- ISO, I. 1986. 6461-1, Water Quality-Detection and Enumeration of the Spores of Sulfite-Reducing Anaerobes (Clostridia)-Part 1: Method by Enrichment in a Liquid Medium. International Organization for Standardization.
- ISO, P. 2017. 6579-1: 2017-04; A Method for the Detection, Enumeration and Serotyping of *Salmonella*. Polish Committee for Standardization: Warsaw, Poland.
- Jalili, M., M. Mokhtari, H. Eslami, F. Abbasi, R. Ghanbari, and A. A. Ebrahimi. 2019. Toxicity evaluation and management of co-composting pistachio wastes combined with cattle manure and municipal sewage sludge. *Ecotoxicology and environmental safety* 171:798-804. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.056.
- Jaramillo, D. F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia. 52 p.
- Jarukas, L., L. Ivanauskas, G. Kasparaviene, J. Baranauskaite, M. Marksa, and J. Bernatoniene, 2021. Determination of organic compounds, fulvic acid, humic acid, and humin in peat and sapropel alkaline extracts. *Molecules* 26(10):2995. https://doi.org/10.3390/molecules26102995.
- Jiménez, E. I., and V. P. García. 1992. Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agriculture Ecosystems and Environment* 38(4):331-343. https://doi.org/10.1016/0167-8809(92)90154-4
- Jodar, J. R., N. Ramos, J. A. Carreira, R. Pacheco, and A. Fernández-Hernández. 2017. Quality assessment of compost prepared with municipal solid waste. *Open Engineering* 7(1):221-227. doi:10.1515/eng-2017-0028
- Karak, T., F. R. Kutu, R. K. Paul, K. Bora, D. K. Das, P. Khare, et al. 2017. Co-composting of cow dung, municipal solid waste, roadside pond sediment and tannery sludge: role of human hair. *International Journal of Environmental Science and Technology* 14:577-594. doi:10.1007/s13762-016-1167-0
- Koenig, A., and Q. H. Bari. 2000. Application of self-heating test for indirect estimation of respirometric activity of compost: theory and practice. *Compost Science and Utilization* 8(2): 99-107. https://doi.org/10.1080/1065657X.2000.10701755
- Kokornaczyk, M. O., F. Primavera, R. Luneia, S. Baumgartner, and L. Betti. 2017. Analysis of soils by means of Pfeiffer's circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. *Biological Agriculture and Horticulture* 33(3):143-157. doi:10.1080/01448765.2016.1214889
- Kucbel, M., H. Raclavská, J. Růžičková, B. Švédová, V. Sassmanová, J. Drozdová, et al. 2019. Properties of composts from household food waste produced in automatic composters. *Journal of Environmental Management* 236:657-666. doi:10.1016/j.jenvman.2019.02.018
- Lahlou, K., M. Ben Abbou, Z. Majbar, Z. Zaytouni, Y. Karzazi, O. El-Hajjaji, et al. 2017. Recovery of sludge from the sewage treatment plant in the city of Fez (STEP) through the composting process. *J. Mater. Environ. Sci.* 8(12):4582-4590
- Larsen, K. L., and D. M. McCartney. 2000. Effect of C/N ratio on microbial activity and N retention: Bench-scale study using pulp and paper biosolids. *Compost Science and Utilization* 8(2):147-159. https://doi.org/10.1080/1065657X.2000.10701760
- Lasaridi, K. E., and E. I. Stentiford. 1998. A simple respirometric technique for assessing compost stability. *Water Research* 32(12):3717-3723
- Lemus, G. R., and A. K. Lau. 2002. Biodegradation of lipidic compounds in synthetic food wastes during composting. *Canadian Biosystems Engineering* 44(6):6-33.
- Lepsch, H. C., P. H. Brown, C. A. Peterson, A. C. Gaudin, and S. D. S. Khalsa. 2019. Impact of organic matter amendments on soil and tree water status in a California orchard. *Agricultural Water Management* 222:204-212. doi:10.1016/j.agwat.2019.06.002

- Lin, Y. H., Y. Z. Lin, and Y. H. Lin. 2022. Preliminary design for establishing compost maturity by using the spectral characteristics of five organic fertilizers. *Scientific Reports* 12(1):15721. doi:10.1038/s41598-022-19714-3
- Liu, Q., X. He, G. Luo, K. Wang, and D. Li. 2022. Deciphering the dominant components and functions of bacterial communities for lignocellulose degradation at the composting thermophilic phase. *Bioresource Technology* 348:126808. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126808>
- López, M. E., y M. J. Sainz. 2011. Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola. Santiago de Compostela: Servizo de Publicacións e Intercambio Científico, Universidad de Santiago de Compostela. 226 p.
- López-Clemente, X. A., C. Robles-Pérez, V. A. Velasco-Velasco, J. Ruiz-Luna, J. R. Enríquez-del Valle, y G. Rodríguez-Ortiz. 2015. Propiedades físicas, químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados. *CIENCIA Ergo-Sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva* 22(2):145-152.
- Mahongnao, S., P. Sharma, D. Singh, A. Ahamad, P. V. Kumar, P. Kumar, et al. 2023. Formation and characterization of leaf waste into organic compost. *Environmental Science and Pollution Research* 30:75823-75837. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27768-7>
- Margaritis, M., K. Psarras, V. Panaretou, A. G. Thanos, D. Malamis, and A. Sotiropoulos. 2018. Improvement of home composting process of food waste using different minerals. *Waste Management* 73:87-100. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.009>
- Martín, A. P. S., F. C. Marhuenda-Egea, M. A. Bustamante, and G. Curaqueo. 2023. Spectroscopy techniques for monitoring the composting process: a review. *Agronomy* 13(9):2245. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092245>
- Martínez-Balmori, D., R. Spaccini, N. O. Aguiar, E. H. Novotny, F. L. Olivares, and L. P. Canellas. 2014. Molecular characteristics of humic acids isolated from vermicomposts and their relationship to bioactivity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62(47):11412-11419. doi:10.1021/jf504629c
- Matsui, N., K. Nakata, C. Cornelius, and M. Macdonald. 2016. Chemical properties and fermentation behavior of the composts prepared by three composting methods in Malawi. *African Journal of Agricultural Research* 11(25):2213-2223. doi:10.5897/AJAR2016.10919
- Medina, T., G. Arroyo F., y V. Peña C. 2018. Cromatografía de Pfaiffer en el análisis de suelos de sistemas productivos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(3):665-673. doi:10.29312/remexca.v9i3.1223
- Meena, M. D., M. L. Dotaniya, M. K. Meena, B. L. Meena, K. N. Meena, R. K. Douthaniya, et al. 2021a. Maturity indices as an index to evaluate the quality of sulphur enriched municipal solid waste compost using variable byproduct of sulphur. *Waste Management* 126:180-190. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.004>
- Meena, A. L., M. Karwal, D. Dutta, and R.P. Mishra. 2021b. Composting: phases and factors responsible for efficient and improved composting. *Agriculture and Food: e-Newsletter* 1:85-90.
- Mengqi, Z., A. Shi, M. Ajmal, L. Ye, and M. Awais. 2021. Comprehensive review on agricultural waste utilization and high-temperature fermentation and composting. *Biomass Conversion and Biorefinery* 13:5445-5468. doi:10.1007/s13399-021-01438-5
- Millán, F. C., J. G. Prato, J. Uzcátegui, A. Sulbarán, y A. Sánchez. 2017. Caracterización físico-química y microbiológica de materiales compostados obtenidos de residuos vegetales del Mercado Principal de Mérida, Venezuela. *Agronomía Tropical* 67(1-4):139-151.
- Millán, F., J. G. Prato, Y. La Cruz, and A. Sánchez. 2018. Methodological study on pH and electric conductivity measurements in compost samples. *Revista Colombiana de Química* 47(2):21-27. doi:10.15446/rev.colomb.quim.v47n2.67338
- Moharana, P. C., and D. R. Biswas. 2016. Assessment of maturity indices of rock phosphate enriched composts using variable crop residues. *Bioresource Technology* 222:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.097>
- Mohedo, G. J. J. 2004. Estudio de la estabilidad durante el compostaje de residuos municipales. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias. 212 p.
- Moreno, J., y Moral, J. 2008. Factores a considerar en la calidad del compost. En Joaquín Moreno y Raúl Moral H. (ed.). *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa. España. 570 p.
- M'sadak, Y., M. A. Elouaer, and L. Bouzidi. 2016. Physico-chemical characterization of co-compost before and after extraction for better use as a growing medium. *Moroccan Journal of Chemistry* 4(1):4-1. doi:10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v4i1.3175

- Nakasaki, K., and H. Hirai. 2017. Temperature control strategy to enhance the activity of yeast inoculated into compost raw material for accelerated composting. *Waste Management* 65:29-36. doi:10.1016/j.wasman.2017.04.019
- Nakasaki, K., H. Hirai, H. Mimoto, T. N. M. Quyen, M. Koyama, and K. Takeda. 2019. Succession of microbial community during vigorous organic matter degradation in the primary fermentation stage of food waste composting. *Science of The Total Environment* 671:1237-1244. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.341>
- Neklyudov, A. D., G. N. Fedotov, and A. N. Ivankin. 2008. Intensification of composting processes by aerobic microorganisms: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology* 44:6-18. <https://doi.org/10.1134/S000368380801002X>
- Ngosong, C., J. N. Okolle, and A. S. Tening. 2019. Mulching: A sustainable option to improve soil health. *Soil Fertility Management for Sustainable Development* 231-249. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5904-0_11
- NMX-AA-180- SCFI-2018. 2018. DOF. Norma Oficial Mexicana: Métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. Disponible en https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5511342&fecha=25/01/2018#gsc.tab=0
- NMX-AA-42-1987. 1987. SECOFI-DOF Norma Mexicana: Calidad del agua, determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termo tolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva. Disponible en <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa042.pdf>
- NOM-004-SEMARNAT-2002. 2002. DOF. Norma Oficial Mexicana: Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Disponible en <https://catalogonacional.gob.mx/FichaRegulacionId?regulacionId=25418>
- NOM-113-SSA1-1994. 1994. DOF. Norma Oficial Mexicana: Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. Disponible en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4874375&fecha=24/05/1995
- NOM-114-SSA1-1994. 1994. DOF. Norma Oficial Mexicana; Bienes y servicios. Método para la determinación de *Salmonella* en alimentos. DV: 51-73. Disponible en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4728936&fecha=15/08/1994#gsc.tab=0
- Osorio, S. C. A., O. R. Castellanos, J. P. J. Romero, y J. P. R. Miranda. 2017. Comparación de la calidad del humus de material vegetal (de humedales artificiales) con el de residuos orgánicos domésticos. *Revista Logos, Ciencia and Tecnología* 8(2):191-200. doi:10.22335/rict.v8i2.389
- Oviedo-Ocaña, E. R., P. Torres-Lozada, L. F. Marmolejo-Rebellon, L. V. Hoyos, S. Gonzales, R. Barrera, et al. 2015. Stability and maturity of biowaste composts derived by small municipalities: Correlation among physical, chemical and biological indices. *Waste Management* 44:63-71. doi:10.1016/j.wasman.2015.07.034
- Parihar, P., and R. Choudhary. 2022. Evaluation of the effect of Organic Waste on Nutrient Quality of Compost. *Journal of Xi'an Shiyou University, Natural Science Edition* 18(6):712-715.
- Parkar, S., R. Mulukh, G. Narhari, and S. Kulkarni. 2021. An insight into treatment, reuse, recycle and disposal of biodegradable and non-biodegradable solid waste. In *Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Science and Technology (ICAST2021)*. Mumbai, India (mayo 7, 2021). SSRN: Electronic Journal <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3867475>
- Pelegrín, M., J. A. Sáez-Tovar, J. Andreu-Rodríguez, M. D. Pérez-Murcia, E. Martínez-Sabater, F. C. Marhuenda-Egea, et al. 2018. Composting of the invasive species *Arundo donax* with sewage and agri-food sludge: Agronomic, economic and environmental aspects. *Waste Management* 78:730-740. doi:10.1016/j.wasman.2018.06.029
- Peña, E., M. Carrión, F. Martínez, A. Rodríguez y N. Companioni. 2002. Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. INIFAT. La Habana, Cuba. 65 p.
- Radziemska, M., M. D. Vaverková, D. Adamcová, M. Brtnický, and Z. Mazur. 2019. Valorization of fish waste compost as a fertilizer for agricultural use. *Waste and Biomass Valorization* 10:2537-2545. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0288-8>

- Rastogi, M., M. Nandal, and L. Nain. 2019. Additive effect of cow dung slurry and cellulolytic bacterial inoculation on humic fractions during composting of municipal solid waste. *International Journal of Recycling of Organic Waste Agriculture* 8:325-332. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0277-3>
- Ravindran, B., and P. N. S. Mnkeni. 2016. Bio-optimization of the carbon-to-nitrogen ratio for efficient vermicomposting of chicken manure and waste paper using *Eisenia fetida*. *Environmental Science and Pollution Research* 23:16965-16976. doi:10.1007/s11356-016-6873-0.
- Restrepo, R. J. y S. Pinheiro. 2011. *Cromatografía. Imágenes de vida y destrucción del suelo*. 21a ed. Feriva, S. A. Cali, Colombia.
- Rivas-Nichorzon, M., y R. Silva-Acuña. 2020. Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia crassipes*). *Ciencia Unemi* 13(32):87-100. doi:10.29076/issn.2528-737vol13iss32.2020pp87-100p
- Rodas-Gaitán, H. A., R. E Vázquez-Alvarado, E. Olivares-Sáenz, J. Aranda-Ruiz, y J. M. Palma-García. 2019. Estabilidad de compostas estáticas biodinámicas a partir de restos de cultivos regionales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(1):187-195. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1337>
- Rodríguez, D. G. T., B. Mendoza, L. M. M. Parra, y C. E. Gómez. 2016. Calidad de abonos orgánicos empleados en la depresión de Quíbor-Venezuela bajo ambientes protegidos. *Revista Ciencia y Tecnología* 9(2):1-10. doi:10.18779/cytuteq.v9i2.18.g10
- Roig, A., A. Lax, J. Cegarra, P. Costa, and M. T. Hernández. 1988. Cation exchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manures. *Soil Science* 146(5):311-316.
- Roletto, E., R. Barberis, M. Consiglio and R. Jodice. 1985. Chemical parameters for evaluating compost maturity. *Biocycle* 26(2):46-47.
- Rosas-Martínez, V., D. A. Rodríguez-Lagunes, R. C. Llarena-Hernández, N. Milanés-Ramos, J. O. Rico-Contreras, y O. Castañeda-Castro. 2021. Evaluación físico-química de composta de residuos avícolas y cachaza. *Agrociencia* 55(4):291-302. doi:10.47163/agrociencia.v55i4.2478
- Sánchez-Rosales, R., O. A. Hernández-Rodríguez, J. A. Jiménez-Castro, D. L. Ojeda-Barrios, V. M. Guerrero-Prieto, and R. A. Parra-Quezada. 2019. Modelos de predicción del índice de madurez de abonos orgánicos producidos con tres procesos de transformación. *Información Técnica Económica Agraria* 115(3):198-212.
- Sandoval-Cobo, J. J., M. R. Casallas-Ojeda, L. Carabalí-Orejuela, A. Muñoz-Chávez, D. M. Caicedo-Concha, L. F. Marmolejo-Rebellón, et al. 2020. Methane potential and degradation kinetics of fresh and excavated municipal solid waste from a tropical landfill in Colombia. *Sustainable Environment Research* 30(7):1-11.
- Shen, G., Y. Chen, J. Zhang, Y. Wu, Y. Yi, S. Li, and S. Yin. 2023. Quantitative analysis of index factors in agricultural compost by infrared spectroscopy. *Heliyon* 9(3):e14010. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14010>
- Siles-Castellano, A. B., M. J. López, J. A. López-González, F. Suárez-Estrella, M. M. Jurado, M. J. Estrella-González, et al. 2020. Comparative analysis of phytotoxicity and compost quality in industrial composting facilities processing different organic wastes. *Journal of Cleaner Production* 252:119820. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119820>
- Silva, M. E. F., L. T. de Lemos, O. C. Nunes, and A. C. Cunha-Queda. 2014. Influence of the composition of the initial mixtures on the chemical composition, physicochemical properties and humic-like substances content of composts. *Waste Management* 34(1):21-27. doi:10.1016/j.wasman.2013.09.011
- Silva, M. E. F., A. R. Lopes, A. C. Cunha-Queda, and O. C. Nunes. 2016. Comparison of the bacterial composition of two commercial composts with different physicochemical, stability and maturity properties. *Waste Management* 50:20-30. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.023>
- Smidt, E., and K. Meissl. 2007. The applicability of Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy in waste management. *Waste Management* 27(2):268-276. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.01.016>
- Soliva, M. 2011. *Materia orgánica y compostaje: control de la calidad y del proceso*. En *Jornada Técnica: Fertilidad y Calidad del Suelo*. Experiencias de fertilización orgánica en platanera. 21 de octubre de 2011. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. ICIA. Proyecto BIOMUSA.

- Soliva, M., y M. López. 2004. Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. España. p 1-17.
- Soto, J. A. D., V. B. C. Fernández, G. M. M. Sosa, W. O. Pinedo, P. L. R. La Torre, F. A. I. Flores, et al. 2021. Efecto del tipo de solvente y tamaño de partícula en la determinación de pH en compost. *Revista Científica Pakamuros* 9(3):1-13. doi:10.37787/pakamuros-unj.v9i3.214
- Soto-Paz, J., E. R. Oviedo-Ocaña, P. C. Manyoma-Velásquez, Torres-Lozada, P., and T. Gea. 2019. Evaluation of mixing ratio and frequency of turning in the co-composting of biowaste with sugarcane filter cake and star grass. *Waste Management* 96:86-95. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.015>
- Swati, A., and S. Hait. 2017. Fate and bioavailability of heavy metals during vermicomposting of various organic wastes A review. *Process Safety and Environmental Protection* 109:30-45. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.03.03>
- Tahiri, A., A. Richel, J. Destain, P. Druart, P. Thonart, and M. Ongena. 2016. Comprehensive comparison of the chemical and structural characterization of landfill leachate and leonardite humic fractions. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 408:1917-1928. doi:10.1007/s00216-016-9305-6
- Tamakloe, J. M., E. K. Koledzi, S. Megnassan, and E. Aziabile. 2020. Evaluation of the maturity of the compost produced at the compost production site of the NGO ENPRO in Lomé (Togo) using the UV-Visible spectroscopy. *Science* 8(4):95-101. doi:10.11648/j.sjc.20200804.14
- Tibu, C., T. Y. Annang, N. Solomon, and D. Yirenya-Tawiah. 2019. Effect of the composting process on physicochemical properties and concentration of heavy metals in market waste with additive materials in the Ga West Municipality, Ghana. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 8:393-403. doi:10.1007/s40093-019-0266-6
- Torres-Climent, A., P. Gomis, J. Martín-Mata, M.A. Bustamante, F.C. Marhuenda-Egea, M. D. Pérez-Murcia, et al. 2015. Chemical, thermal and spectroscopic methods to assess biodegradation of winery-distillery wastes during composting. *PloS One* 10(9):e0138925. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138925>
- Torti, M. J., M. Butti, y V. Fain Binda. 2019. Evolución de los indicadores de madurez y estabilidad biológica en compost de residuos de incubación. *Revista de Tecnología Agropecuaria – RTA*. 10(39):73-75.
- Urriola, L., K. M. Castillo, y M. D. Vergara. 2021. Evaluación de la fitotoxicidad de abonos orgánicos comerciales usando semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pepino (*Cucumis sativus*). *Revista Semilla del Este* 1(2):1-11.
- Vandecasteele, B. 2023. Oxygen uptake rate versus CO₂ based respiration rate for assessment of the biological stability of peat, plant fibers and woody materials with high C: N ratio versus composts. *Waste Management* 167:74-80. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.05.019>
- Vaverková, M. D., J. Elbl, S. Voběrková, E. Koda, D. Adamcová, Z. M. Gusiatin, et al. 2020. Composting versus mechanical-biological treatment: Does it really make a difference in the final product parameters and maturity. *Waste Management* 106:173-183. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.030>
- Villalobos, J. A. M., J. A. U. Velázquez, J. C. Paredes, A. R. M. Sifuentes, y H. M. Rodríguez. 2022. Contribución de micronutrientes en una composta aeróbica elaborada con estiércol de ganado bovino. *Agrofaz: Publicación Semestral de Investigación Científica* 4(2):15-22.
- Villar, I., D. Alves, J. Garrido, and S. Mato. 2016. Evolution of microbial dynamics during the maturation phase of the composting of different types of waste. *Waste Management*. 54:83-92. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.011>
- Wang, X., H. Cui, J. Shi, X. Zhao, Y. Zhao, and Z. Wei. 2015. Relationship between bacterial diversity and environmental parameters during composting of different raw materials. *Bioresource Technology* 198:395-402. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.041>
- Wang, X., Y. Zhao, H. Wang, X. Zhao, H. Cui, and Z. Wei. 2017. Reducing nitrogen loss and phytotoxicity during beer vinasse composting with biochar addition. *Waste Manage* 61:150-156. doi:10.1016/j.wasman.2016.12.024
- Waqas, M., T. Almeelbi, and A. S. Nizami. 2018. Resource recovery of food waste through continuous thermophilic in-vessel composting. *Environmental Science and Pollution Research* 25:5212-5222. doi:10.1007/s11356-017-9358-x
- Wei, Y., D. Wu, D. Wei, Y. Zhao, J. Wu, X. Xie, et al. 2019. Improved lignocellulose-degrading performance during straw composting from diverse sources with actinomycetes inoculation by regulating the key enzyme activities. *Bioresource Technology* 271:66-74. doi:10.1016/j.biortech.2018.09.081

- Wichuk, K. M., and D. McCartney. 2013. Compost stability and maturity evaluation-a literature review. *Journal of Environmental Engineering and Science* 8(5):601-620. <https://doi.org/10.1680/jees.2013.0063>
- Xie, S., H. T. Tran, M. Pu, and T. Zhang. 2023. Transformation characteristics of organic matter and phosphorus in composting processes of agricultural organic waste: research trends. *Materials Science for Energy Technologies* 6:331-342. doi:10.1016/j.mset.2023.02.006
- Yang, F., G. Li, H. Shi, and Y. Wang. 2015. Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Waste Management* 36:70-76. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01118>
- Yang, T., K. H. Siddique, and K. Liu. 2020. Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review. *Global Ecology and Conservation* 23:e01118. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01118>
- Yasmin, N., M. Jamuda, A. Panda, K. Samal, and J. K. Nayak. 2022. Emission of greenhouse gases (GHGs) during composting and vermicomposting: Measurement, mitigation, and perspectives. *Energy Nexus*, 7, 100092
- Zapata-Hernández, R. D. 2009. El compostaje y los índices para evaluar su estabilidad. *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo y Centro Nacional de Investigaciones de Café* (ed.) *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero*. Cenicafé. p33-42. doi:10.38141/10791/0003_2
- Zhang, L., and X. Sun. 2014. Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. *Bioresource Technology* 171:274-284. doi:10.1016/j.biortech.2014.08.079.
- Zhang, L., and X. Sun. 2016. Improving green waste composting by addition of sugarcane bagasse and exhausted grape marc. *Bioresource Technology* 218:335-343. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.097>
- Zhang, L., Y. Zhu, J. Zhang, G. Zeng, H. Dong, W. Cao, and Q. Ning. 2019. Impacts of iron oxide nanoparticles on organic matter degradation and microbial enzyme activities during agricultural waste composting. *Waste Management* 95:289-297. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.025>
- Zhao, X. L., B. Q. Li, J. P. Ni, and D. T. Xie. 2016. Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting. *Journal of Integrative Agriculture* 15(1):232-240. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60954-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60954-0)
- Zhu, N., J. Gao, D. Liang, Y. Zhu, B. Li, and H. Jin. 2021. Thermal pretreatment enhances the degradation and humification of lignocellulose by stimulating thermophilic bacteria during dairy manure composting. *Bioresource Technology* 319:124149. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124149>
- Zingaretti, D., F. Lombardi, and R. Baciocchi. 2018. Soluble organic substances extracted from compost as amendments for Fenton-like oxidation of contaminated sites. *Science of the Total Environment* 619:1366-1374. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.11.178
- Zittel, R., C. P. da Silva, C. E. Domingues, D. C. H. Seremeta, R. A. Estrada, and S. X. de Campos. 2018. Composting of smuggled cigarettes tobacco and industrial sewage sludge in reactors: Physicochemical, phytotoxic and spectroscopic study. *Waste Management* 79:537-544. doi:10.1016/j.wasman.2018.08.009
- Zucconi, F., A. Monaco, M. Forte, and M. D. Bertoldi. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter p. 73-86. In: J.K.R. Gasser (ed.) *Composting of Agricultural and Other Wastes*, Elsevier Applied Science Publication, New York, NY, USA.