

Ensayo de Investigación

La naturaleza del material original influye en la calidad final de las compostas

The nature of the original material influences the final quality of the compost

Jaime Alberto Félix Herrán^{1*}, Víctor Olalde Portugal²

¹Universidad Autónoma Indígena de México

²Departamento de Biotecnología y Bioquímica
CINVESTAV - Instituto Politécnico Nacional

Autor de correspondencia:

*jfelixherran@yahoo.com.mx

Recibido: 18-10-2022 Aceptado: 04-07-2023 (Artículo Arbitrado)

Resumen

El propósito de la investigación fue conocer si el material original influye en la producción de sustancias húmicas. Se recolectaron residuos sólidos orgánicos (RSO) de aserrín de pino (A), cachaza de caña (CC), soca de frijol (F), restos de mercado (RM), soca de tomate (T), y poda de pasto de jardín (P). Se realizaron compost y lombricompost, los RSO P, T, F se mezclaron con estiércol de bovino, el compostaje duró 120 días. Para los lombricomposts los RSO A, CC, F y RM se mezclaron con estiércol de bovino, la mezcla se precomposteo 15 días, después se agregaron 200 lombrices m⁻² de sustrato, el lombricompostaje duró 60 días. Al final los composts y lombricomposts fueron cosechadas, tamizadas (< 5 mm) y se colocaron en costales. Se tomó una muestra compuesta de 1 kg de cada mezcla para su análisis. El ensayo fue completamente al azar, con ocho tratamientos y tres repeticiones en cada tratamiento. Se analizó el pH, contenido de Ca y Mg, relación Carbono/Nitrógeno (C/N), materia orgánica, carbono orgánico y las sustancias húmicas extraídas con NaOH 1 N. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al contenido de minerales, materia orgánica y sustancias húmicas. Los lombricomposts presentaron mejor índice de humificación que los composts. El lombricompost que presentó mayor contenido de AH fue LBALB, el inóculo a base de suero de leche y melaza, favoreció la descomposición del aserrín, desdoblado los polifenoles presentes en la lignina y taninos, promoviendo una mayor evolución del lombricompost.

Palabras clave: Materia orgánica, composts, lombricomposts, ácidos húmicos.

Abstract

The research aimed to determine whether the original material influences the production of humic substances. Organic solid wastes (OSW) were collected from pine sawdust (A), sugarcane stubble (CC), bean soca (F), market waste (MR), tomato soca (T), and garden grass pruning (P). The OSW P, T, and F composted with bovine manure for 120 days. For vermicomposting, the OSW A, CC, F, and RM pre-composted with bovine manure for 15 days, and then added 200 worm's m⁻² of substrate for 60 days. At the end, the composts and vermicomposts harvested, sieved (< 5 mm), and placed in sacks. A composite sample of 1 kg of each mixture took for analysis. The trial completely randomized, with eight treatments and three replicates for each treatment. The variables analyzed were pH, Ca and Mg content, Carbon/Nitrogen ratio (C/N), organic matter, organic carbon, and humic substances extracted with NaOH 1 N. There were statistically significant differences for mineral content, organic matter, and humic substances. The vermicomposts presented a better humification index than the composts. The vermicompost with the highest HA content was LBALB. The inoculum based on whey and molasses favored the decomposition of sawdust, splitting the polyphenols present in the lignin and tannins, promoting a better evolution of the vermicompost.

Keywords: Organic matter, composts, vermicomposts, humic acids

Introducción

La materia orgánica del suelo (MOS) está formada por todas las sustancias que contienen Carbono, excepto los carbonatos inorgánicos; es una mezcla de residuos de plantas y animales en diversos estados

de descomposición, los cuerpos de microorganismos vivos y muertos, y sustancias sintetizadas a partir de productos de descomposición de todos estos (Binkley y Fisher, 2020).

Las sustancias húmicas (SH) presentes en la materia orgánica humificada (humus), tienen un efecto benéfico en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además de su función fisiológica en el desarrollo de la planta al promover su crecimiento, división celular y elongación del tejido foliar y radicular (Myneni, 2019). Las sustancias húmicas son complejos del suelo que se forman en la fase de humificación del proceso de compostaje (Kumar Gautam et al., 2021). Hay diferentes teorías sobre la formación de las sustancias húmicas, por ejemplo, la teoría de la condensación de amino-azúcares, la teoría de la lignina y la teoría de los polifenoles (Peña-Méndez, Havel y Patočka, 2005).

El contenido de SH en el humus depende entre muchos factores a la composición del material original; estos ácidos orgánicos se pueden utilizar para inducir la germinación en semillas y como complemento en la fertilización (Olk et al., 2019). Las SH's son mezclas heterogéneas y complejas, que se componen principalmente de ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (H) (Guo, Liu, Wu, 2019); pero son representadas principalmente por los AH (Zykova et al., 2018); los AH son solubles en álcalis, pero insolubles en soluciones ácidas, mientras que los AF son solubles a cualquier pH, las H son insolubles a cualquier pH (Guo et al., 2019).

Los AH contienen diferentes grupos funcionales cuyas cantidades dependen del origen, la edad, el clima y las condiciones ambientales de extracción/producción (Gomes de Melo, Lopes Motta, Andrade Santana, 2016); principalmente se componen de grupos carboxilo e hidroxilo, con gran potencial de óxido-reducción y asociación-disociación, además presentan alta capacidad de intercambio catiónico, reaccionan con el fósforo y calcio, formando complejos fosfohúmicos y calcio-húmicos, respectivamente (Tan, 2014; Paul, 2015). Los AH incrementan la porosidad del suelo y la capacidad de retención de agua del mismo (Guo et al., 2019), por su potencial redox, los AH favorecen la bioremediación del suelo contaminado por metales pesados (Gomes de Melo et al., 2016); favorecen la fertilidad del suelo y fungen como reserva de carbono en el mismo (Kaluza-Haladyn, Jarmroz, Bekier, 2019). Las SH favorecen la solubilidad y transporte de contaminantes orgánicos y metales pesados en el suelo (Myneni, 2019).

En base al potencial ecológico de los AH's y su importancia en el ecosistema, es importante conocer cómo influye la naturaleza del material original en la formación de sustancias húmicas, por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el contenido de sustancias húmicas en composts y lombricomposts producidas a partir de diferente material original.

Metodología

Los RSO de pasto de jardín, sorgo, soca de maíz, soca de tomate, soca de frijol, restos de mercado, cachaza de caña y aserrín fueron molidos en una trituradora mecánica y se realizaron mezclas 1:3 v/v estiércol vacuno-rastrojo. Posteriormente, las mezclas fueron sometidas a compostaje con el procedimiento descrito por Lal-Meena, Karwal, Dutta, Mishra (2021), las camas de compostaje se realizaron en taras de plástico de 20 L y se utilizaron tres réplicas por tratamiento. Las camas se regaron con el fin de mantener la capa externa húmeda y para que la temperatura no sobrepasara los 50 °C. Cada 15 días se voltearon a través de traspaleos en forma manual. El proceso de compostaje duró 120 días, de enero a abril de 2019, al concluir el proceso, las compostas fueron cosechadas, después fueron almacenadas al ambiente en costales para su maduración, y posteriormente tamizadas (> 5 mm), para su posterior análisis de laboratorio.

Para el lombricompost, como para el compost, se utilizó la misma relación de rastrojo: estiércol bovino, pero se agregó un inóculo de aserrín-melaza-lactobacilos de suero de leche (1:1:0.5 p/p); estos materiales se precompostearon por 15 días, después se inocularon las camas con 200 lombrices m². Finalmente, el compost y el lombricompost fueron cosechados y almacenados en sacos para su posterior caracterización fisicoquímica y subsecuente uso en los ensayos.

Las muestras de compost y lombricompost fueron analizadas en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Sinaloa (CIIDIR-IPN, Unidad Sinaloa).

De cada compost y lombricompost se tomó 1 kg de muestra y se tamizó con una malla > 5 mm. Los Cationes Intercambiables (Ca⁺² y Mg⁺²) se midieron mediante el método AS-12 (NOM-021-RECNAT-2000) en un espectrofotómetro de absorción atómica AVANT-A. La Materia Orgánica se basó en el método AS-07

(NOM-021-RECNAT-2000). Para determinar el contenido de sustancias húmicas se utilizó la metodología propuesta por Sánchez et al. (1996). La relación C/N de cada compost y lombricompost se midió siguiendo la metodología propuesta por Gamarra et al. (2017).

Análisis estadístico

Se verificaron tres supuestos de la regresión lineal para aplicar el análisis de varianza, y se probó que los datos presentaban: a) normalidad de los errores residuales con la prueba de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$); b) homoscedasticidad con la prueba de Bartlett's ($p > 0.05$); y no autocorrelación de los datos por la prueba de Contraste de Durbin-Watson. El análisis estadístico y las pruebas se realizaron con el paquete estadístico R Software, versión 4.1.1 (R Core Team, 2021). Para el ANOVA de una vía se utilizó la función "aov." Para la comparación de medias se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey con el paquete "agricolae" (de Mendiburu, 2021). El nivel de significancia para todas las pruebas fue $\alpha = 0.05$.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización química de los diferentes composts y lombricomposts. El contenido de Ca y Mg presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). Las lombricompost LBF y LBA presentaron el mayor contenido de Ca^{+2} , con 50.13 y 48.18 Cmol kg^{-1} , respectivamente. Mientras que LBCC y CT presentaron el menor contenido, con 0.18 y 2.76 Cmol kg^{-1} , respectivamente. Para el Mg^{+2} , el mayor contenido se encontró en CT y CF, con 16.34 y 15.93 Cmol kg^{-1} , respectivamente. El menor contenido se encontró en LBCC, con 1.31 Cmol kg^{-1} .

Tabla 1. Caracterización química de los diferentes abonos, los tratamientos fueron lombricompost de restos vegetales (LBRV), lombricompost de cachaza de caña (LBCC), lombricompost de soca de frijol (LBF), lombricompost de aserrín con inóculo de lactobacilos (LBALB), lombricompost de aserrín (LBA), compost de poda de pasto de jardín (CP), compost de soca de tomate (CP), compost de soca de frijol (CF).

	Ca	Mg
Abono	Cmol kg ⁻¹ de muestral	
LBRV	8.42 ± 0.19bc	15.38 ± 0.28a**
LBCC	0.18 ± 0.01c*	1.31 ± 0.01d
LBF	50.13 ± 9.70a	4.78 ± 0.73c
LBALB	28.36 ± 5.76ab	2.74 ± 0.28cd
LBA	48.18 ± 8.97a	2.74 ± 0.69cd
CP	8.47 ± 0.30bc	9.41 ± 0.63b
CT	2.76 ± 0.10c	16.34 ± 0.62a
CF	7.93 ± 0.29bc	15.93 ± 0.62a

* Letras diferentes en las columnas indican diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

** Media ± Error estándar de la media.

La relación Carbono/Nitrógeno (C/N), contenido de materia orgánica y sustancias húmicas (Tabla 2) presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). El índice de humificación se representa por la relación entre el contenido de AH y AF, a mayor índice mayor grado de humificación del compost o lombricompost, en el presente estudio se encontró diferencia estadísticamente significativa en el índice de humificación ($p < 0.05$).

El mayor contenido de MO se encontró en LBALB, con 46.02 %, y menor contenido se encontró en LBCC y LBF, con 19.81 % y 19.07 %, respectivamente. El mayor contenido de AF se encontró en CP con 14.73 $\text{mgC g}_{\text{ss}}^{-1}$, y el menor se encontró en LBF con 4.2 $\text{mgC g}_{\text{ss}}^{-1}$. Para los AH, el mayor contenido se encontró en

Tabla 2. Caracterización orgánica de los diferentes abonos, los tratamientos fueron lombricompost de restos vegetales (LBRV), lombricompost de cachaza de caña (LBCC), lombricompost de soca de frijol (LBF), lombricompost de aserrín con inóculo de lactobacilos (LBALB), lombricompost de aserrín (LBA), compost de poda de pasto de jardín (CP), compost de soca de tomate (CP), compost de soca de frijol (CF).

		AF	AH		
Abono	MO (%)	(mgC g _{ss} ⁻¹)		AH/AF	C/N
LBRV	30.65 ± 0.17d	9.49 ± 0.49c	20.89 ± 0.58b	2.22 ± 0.32ab	36.29 ± 0.33d
LBCC	19.81 ± 0.08g	5.39 ± 0.16e	10.61 ± 0.16d	1.97 ± 0.16bc	55.2 ± 0.67c
LBF	19.07 ± 0.46g	4.2 ± 0.09f	7.63 ± 0.28e	1.82 ± 0.08bcd	29.7 ± 0.88e
LBALB	46.02 ± 0.19a	12.14 ± 0.06b	31.75 ± 0.56a	2.62 ± 0.07a	130.53 ± 0.67b
LBA	27.22 ± 0.17e	9.39 ± 0.09c	15.34 ± 0.29c	1.63 ± 0.03cd	151 ± 0.38a
CP	37.56 ± 0.10b	14.73 ± 0.16a	21.14 ± 0.16b	1.44 ± 0.05d	10.78 ± 0.32f
CT	36.46 ± 0.07c	14.4 ± 0.0a	21.8 ± 0.16b	1.51 ± 0.02d	11.58 ± 0.13f
CF	25.97 ± 0.10f	7.68 ± 0.16d	10.9 ± 0.48d	1.42 ± 0.16d	10.86 ± 0.98f

* Letras diferentes en las columnas indican diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

** Media ± Error estándar de la media.

LBALB, con $31.75 \text{ mgC g}_{\text{ss}}^{-1}$, y el menor en LBCC y CF, con $10.61 \text{ mgC g}_{\text{ss}}^{-1}$ y $10.9 \text{ mgC g}_{\text{ss}}^{-1}$, respectivamente. Como se puede observar en la Tabla 2, el contenido de AH es mayor al contenido del AF, esto indica que los composts y lombricomposts estaban en cierto grado de humificación, en el índice de humificación (AH/AF), se mantuvo la tendencia observada en los AH, el mayor índice se encontró en LBALB, con 2.62, y el menor en LBF, LBA, CP, CT y CF, con 1.82, 1.63, 1.44, 1.51 y 1.42, respectivamente. La mayor relación C/N se observó en LBA con 151, y la menor en CP, CT y CF, con 10.78, 11.58 y 10.86, respectivamente.

El contenido de sustancias húmicas en el humus depende de la fuente y el origen de los materiales utilizados para producirlo (Jarukas et al., 2021). Más específicamente, está en función de la relación C/N, el contenido de lignina y taninos, la humedad y la actividad microbiana (Guo et al., 2019).

La relación C/N es un índice de calidad de la materia orgánica del suelo (MOS) (Gamarra-Lezcano et al., 2017); es decir, si es ≥ 70 , como en el aserrín, cereales y gramíneas, indica que la MOS se descompondrá lentamente, porque estos materiales se caracterizan por un mayor contenido de lignina y taninos, por lo que la descomposición de estos materiales complejos es lenta, además los microorganismos inmovilizarán el nitrógeno presente, a lo que se le conoce como efecto priming (Ortiz et al., 2019); en cambio, si es ≤ 18 , como en leguminosas, restos de mercado, pasto de jardín, indica que la MOS se descompondrá rápido, porque estos materiales se caracterizan por un mayor contenido de proteínas y menor contenido de lignina y taninos, se favorecerá la descomposición y mineralización de la MOS.

En cuanto al contenido de lignina y taninos, estos se componen principalmente de polifenoles, que son compuestos aromáticos complejos (Tan, 2014). La literatura señala que los polifenoles son los principales precursores de las sustancias húmicas de la MOS (Kumar-Gautam et al., 2021). De acuerdo a esto, la degradación parcial de la lignina y taninos produce quinonas y polifenoles, estos compuestos pasan a un proceso de polimerización y condensación de aminoazúcares, y posteriormente pasan a ácidos fúlvicos (AF), los AF's finalmente evolucionan a ácidos húmicos (AH) (Guo et al., 2019). El contenido de lignina y taninos en la MOS se relaciona con la relación C/N,

como se mencionó en el párrafo anterior, porque a mayor contenido de lignina y taninos, mayor contenido de sustancias húmicas (Tan, 2014).

La presencia de iones divalentes como el Ca^{+2} y Mg^{+2} favorece la formación de agregados estables de AH (Hakim Suzuki, Kobayashi, 2019), se forman complejos humato de calcio y humato de magnesio, el primero le da estabilidad a los AH y el segundo favorece la disponibilidad del Mg^{+2} para la planta (Wu et al., 2020).

Es decir, si la materia original fresca presenta un alto contenido de lignina y taninos, como el aserrín, sorgo o materia lignificada, su relación C/N será alta (≥ 70), por lo que la descomposición será lenta, pero al finalizar el proceso de compostaje, el contenido de materia orgánica, carbono orgánico y sustancias húmicas será alto. Por el contrario, si la materia original fresca se compone de rastrojo de leguminosas, poda de pasto de jardín, soca de frijol o garbanzo, soca de tomate, la relación C/N será baja (≤ 18), en este caso, la descomposición será rápida, pero al concluir el proceso de compostaje, el contenido de materia orgánica, carbono orgánico y por ende de sustancias húmicas será menor.

La materia orgánica y las sustancias húmicas favorecen las características físicas y químicas del suelo, mejorando la fertilidad del mismo, pero también se relacionan con la disponibilidad de nutrimentos, a través de los complejos con minerales del suelo, por las reacciones de quelación (Guo et al., 2019).

Los resultados de la Tabla 1 muestran que las compostas de frijol, soca de tomate y de cachaza de caña, presentaron bajo contenido de lignina y taninos, además de baja relación C/N. En el caso del frijol la relación C/N es < 20 , esto hace que la descomposición sea rápida, pero al concluir el proceso de compostaje, el índice de humificación fue bajo, esto se refleja en bajo contenido de ácidos húmicos y fúlvicos.

Mientras que en las compostas de aserrín y poda de pasto, presentan alto contenido de lignina y taninos, y alta relación C/N, en aserrín la relación C/N es > 150 , por lo que la descomposición de estos materiales fue lenta, pero el índice de humificación fue mayor que en las compostas de frijol, soca de tomate y cachaza de caña, es decir, las compostas de aserrín y poda de pasto de jardín presentaron mayor contenido de ácidos húmicos y fúlvicos.

El lombricompostaje es la biodegradación post-termostática de la materia orgánica a través de la interacción entre la lombriz y los microorganismos nativos (Moraes et al., 2015). El lombricompostaje favorece la producción de sustancias húmicas, enzimas libres y fitohormonas, las SH de lombricompost mejoran el rendimiento y calidad en frutos, estimulan el desarrollo de las plantas, influyen en la producción de ATP y pigmentos fotosintéticos (Calderín et al., 2016; Gomes et al., 2019).

En LBA se registró menor contenido de sustancias húmicas, pero esto pudo deberse a que el periodo de lombricompostaje fue de 60 días, y la mineralización y humificación del aserrín requiere más tiempo. Por lo que, si el proceso hubiera continuado hasta los 120 días, probablemente el contenido de sustancias húmicas podría haber sido mayor. En LBALB, el fermento a base de lactobacilos de suero de leche, pudo haber ayudado a la descomposición de la MOS, comparado con LBA, esto se reflejó en la mayor humificación de la MOS, es decir, mayor índice de humificación (AH/AF) en LBALB (2.62) comparado con LBA (1.63).

Kulikowska y Bernat (2021), evaluaron el uso de aserrín de sauce y lodos residuales de drenaje para elaborar compost, monitorearon el contenido de materia orgánica y sustancias húmicas durante 140 días. Reportan que el lodo residual con aserrín de sauce promueve la producción de sustancias húmicas. Esto concuerda con lo observado en el presente estudio, la composta con aserrín de pino presentó mayor contenido de ácidos húmicos.

Pereira et al., (2023) compararon dos formulaciones de lombricompost con un lombricompost comercial, utilizaron restos de mercado y lombriz roja californiana (*Eisenia foetida foetida*), los resultados obtenidos por los autores en cuanto a materia orgánica y sustancias húmicas, son similares a los obtenidos en la presente investigación, los autores reportan contenido de materia orgánica entre 28.67 – 31.33 %, AH entre 11.01 – 15.43 mg g⁻¹, AF entre 5.33 – 9.80 mg g⁻¹, mientras que en la presente investigación la materia orgánica del lombricompost de restos de mercado fue 30.65 %, el contenido de AH fue 20.89 mgC·g_{ss}⁻¹ y AF fue 9.49 mgC·g_{ss}⁻¹.

En otro estudio similar Lanno et al., (2022), evaluaron siete abonos, entre composts y lombricomposts,

utilizaron diferentes materiales originales, entre los residuos usaron aserrín, restos de mercado, poda de pasto y lombricompost, midieron el contenido de MO y el índice de humificación para medir el grado de maduración, los autores reportan el contenido de MO entre 8.7 – 27.0, y el índice de humificación entre 1.42 – 7.88. Los resultados obtenidos en la presente investigación para la MO son mayores a lo reportado por los autores, la MO oscila entre 19.07 – 46.02 %, el índice de humificación obtenido coincide con el reportado por los autores, oscila entre 1.44 – 2.62.

Conclusiones

El proceso de degradación aerobia a través del compostaje está en función del contenido de compuestos aromáticos como la lignina y taninos, y de la relación C/N de la materia orgánica fresca. Los polifenoles presentes en la lignina y taninos son precursores de las sustancias húmicas. A mayor contenido de lignina y taninos, mayor será la relación C/N, por lo tanto, la tasa de descomposición será alta, y al final se tendrá un humus con alto contenido de sustancias húmicas, como sucedió con el lombricompost de aserrín, y el compost de poda de pasto de jardín.

Las sustancias húmicas forman complejos con minerales del suelo y con la arcilla, los complejos con la arcilla (arcilla-húmicos) mejoran la formación de agregados y la estabilidad de la estructura del suelo; con el fósforo forman el complejo fosfo-húmicos, que mejora la disponibilidad del fósforo; con el calcio forma el complejo humato de calcio, que mejora la estabilidad de los ácidos húmicos; con el amonio forma el complejo humato de amonio, que mejora la disponibilidad del amonio. Con los micronutrientes forma quelatos, que mejoran la disponibilidad de los micronutrientes.

El índice de humificación relaciona el contenido de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, mientras mayor sea indica una mayor evolución del humus. Los lombricompost presentaron mayor índice de humificación que los composts, es decir, mayor contenido de ácidos húmicos.

La densidad aparente indica la relación entre la masa por unidad de volumen, y se relaciona con el espacio poroso, a mayor densidad menor espacio poroso, como sucedió con los composts y lombricomposts puros (100 %), que presentaron mayor densidad y menor espacio poroso, como se comentó en la sección de discusión, los composts y lombricomposts no deben

utilizarse puros como sustrato, porque tienden a compactarse y eso dificulta el desarrollo del tejido radicular de la planta, además de que presentan mal drenaje. La densidad aparente y el espacio poroso se corrigen mezclando el compost o lombricompost con vermiculita.

Referencias

- Binkley, D. and R. F. Fisher. (2020). *Ecology and management of forest soils*. United Kingdom: Wiley Blackwell.
- Calderín García, A., O. C. Huertas Tavares, D. Martínez Balmori, V. dos Santos Almeida, L. Pasqualoto Canellas, J. M. García-Mina and R. L. Louro Berbara. (2016). Structure-function relationship of vermicompost humic fractions for use in agriculture. *J Soils Sediments*. DOI 10.1007/s11368-016-1521-3
- de Mendiburu, F. (2021). *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-5. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Gamarra Lezcano, C. C., M. I. Díaz Lezcano, M. Vera de Ortíz, M. del P. Galeano, A. J. N. Cabrera Cardús. (2017). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9(46). 4 – 26.
- Gomes Júnior, G.A., R. Alves Pereira, G. Andrade Sodré and E. Gross. (2019). Humic acids from vermicompost positively influence the nutrient uptake in mangosteen seedlings. *Pesq. Agropec. Trop., Goiânia*. v. 49, e55529. DOI: 10.1590/1983-40632019v49e55529
- Guo, X., H. Liu, S. Wu. (2019). Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the Total Environment*. 662. 501–510.
- Gomes de Melo, B.A., F. Lopes Motta, M. H. Andrade Santana (2016) Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Materials Science and Engineering C*. 62. 967–974.
- Hakim, A., T. Suzuki, and M. Kobayashi. (2019). Strength of Humic Acid Aggregates: Effects of Divalent Cations and Solution pH. *ACS Omega*, 4. 8559 – 8567.
- Jarukas, L., L. Ivanauskas, G. Kasparaviciene, J. Baranauskaite, M. Marksa, J. Bernatoniene. (2021). Determination of Organic Compounds, Fulvic Acid, Humic Acid, and Humin in Peat and Saproel Alkaline Extracts. *Molecules*, 26, 2995. doi.org/10.3390/molecules26102995
- Kaluza-Haladyn, A., E. Jamroz, J. Bekier. (2019). Humic substances of differently matured composts produced from municipal solid wastes and biomass of energetic plants. *Soil science annual*. 70(4). 292–297. doi: 10.2478/ssa-2019-0026
- Kulikowska, D., K. Bernat. (2021). Waste Willow-Bark from Salicylate Extraction Successfully Reused as an Amendment for Sewage Sludge Composting. *Sustainability*. 13, 6771. doi.org/10.3390/su13126771
- Kumar Gautam, R., D. Navaratna, S. Muthukumaran, A. Singh, I. More and N. More. (2021). Humic Substances: Its Toxicology, Chemistry and Biology Associated with Soil, Plants and Environment. Chapter in Book *InTech Open*, (pp. 1 – 13). India.
- Lal-Meena, A., M. Karwal, D. Dutta and R.P. Mishra. 2021. Composting: Phases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. *Agriculture & Food. E-newsletter*. 3(1). 85 – 90.
- Lanno, M., M. Klavins, O. Purmalis, M. Shanskiy, A. Kisand and M. Kriipsalu. (2022). Properties of Humic Substances in Composts Comprised of Different Organic Source Material. *Agriculture*, 12, 1797. doi.org/10.3390/agriculture12111797
- Myneni S., C.B. (2019). Chemistry of Natural Organic Matter—The Next Step: Commentary on a Humic Substances Debate. *Journal of Environmental Quality*. 48. 233 – 235.
- Moraes Amorim, M., H. Duarte Vieira, I. Moraes Amorim, L. Barros Dobbss, B. Borges Deminicis and P. Brites Xavier. (2015). Effects of the humic acid extracted from vermicompost on the germination and initial growth of *Brachiaria brizantha* cv. MG5. *African Journal of Biotechnology*. 14(18): 1576 – 1583. doi: 10.5897/AJB201514443
- NOM-021-RECNAT-2000. Aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Conservación, Protección, Restauración y Aprovechamiento de los Recursos Forestales de Suelos y Costas. 85 p. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002#gsc.tab=0
- Olk, D.C., P. R. Bloom, E. M. Perdue, D. M. McKnight, Y. Chen, A. Fahrenhorst, N. Senesi, Y.-P. Chin, P. Schmitt-Kopplin, N. Hertkorn, and M. Harir. (2019). Environmental and Agricultural Relevance of Humic Fractions Extracted by Alkali from Soils and Natural Waters. *Journal of Environmental Quality*. 48. 217 – 232.
- Ortiz J., V. S. Faggioli, H. Ghio, M. F. Boccolini, J. P. Ioele, P. Tamburrini, F. O. García, V. Gudelj. (2019). Impacto a largo plazo de la fertilización sobre la estructura y funcionalidad de la comunidad microbiana del suelo. *Ciencia del suelo*. 38 (1). 45-55
- Paul, E.A. (2015). *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Oxford, United Kingdom. Academic Press-Elsevier.
- Pereira, M.M.A., L.C. Moraes, M.C.T. Mogollón, C.J.F. Borja, M. Duarte, V.H.T. Buttrós, J.M.Q. Luz, M. Pasqual, J. Dória. (2023) Cultivating Biodiversity to Harvest Sustainability: Vermicomposting and Inoculation of Microorganisms for Soil Preservation and Resilience. *Agronomy*, 13, 103. doi.org/10.3390/agronomy13010103
- Peña-Méndez, E.M., J. Havel, and J. Patočka. (2005). Humic substances. compounds of still unknown structure: applications in agriculture, industry, environment, and biomedicine. *Journal of Applied Biomedicine*. 3: 13.24
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Sánchez Monedero M. A., A. Roig, C. Martínez Pardo, J. Cegarra y C. Paredes. (1996). A microanalysis method for determining total organic carbon in extracts of humic substances. Relationships between total organic carbon and oxidable carbon. In: *Bioresource Technology*. 57. 291–295. doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00078-8
- Tan, K.H. (2014). *Humic matter in soil and the environment, Principles and Controversies*. Boca Raton, Florida: Taylor and Francis group.
- Wu, J., Q. Deng, D. Hui, X. Xiong, H. Zhang, M. Zhao, X. Wang, M. Hu, Y. Su, H. Zhang, G. Chu and D. Zhang. (2020). Reduced Lignin Decomposition and Enhanced Soil Organic Carbon Stability by Acid Rain: Evidence from ¹³C Isotope and ¹³C NMR Analyses. *Forests*, 11, 1191; doi:10.3390/f11111191
- Zykova, M.V., I. A. Schepetkin, M. V. Belousov, S. V. Krivoshchekov, L. A. Logvinova, K. A. Bratishko, M. S. Yusubov, S. V. Romanenko and M. T. Quinn. (2018). Physicochemical characterization and Antioxidant Activity of Humic Acids Isolated from Peat of Various Origins. *Molecules*. 23, 753.