

Influencia del humus de lombriz en la calidad de los suelos agrícolas: un estudio de caso

Influence of earthworm humus on the quality of agricultural soils: a case study

*Dídimo Alexander Mendoza Intriago*¹

*Valter Francisco Mero Rosado*²

*Byron Rolando Alcívar Arteaga*³

Resumen

La degradación del suelo es un problema global que afecta la producción de alimentos, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. La búsqueda de prácticas agrícolas sostenibles para restaurar y mejorar la salud del suelo es crucial. Este artículo presenta una investigación experimental realizada en la Finca Lodana, Cantón Santa Ana, Ecuador, que evaluó la influencia de la aplicación de humus de lombriz (vermicompost) en los parámetros físico-químicos y biológicos de un suelo agrícola. Se establecieron cuatro tratamientos con diferentes dosis de humus de lombriz (0%, 5%, 10% y 15%) y se analizaron muestras de suelo a los 30, 60 y 90 días. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en las propiedades del suelo, incluyendo el pH, la materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, potasio), la textura y la humedad. Este artículo profundiza en los mecanismos por los cuales el humus de lombriz impacta positivamente la calidad del suelo y discute sus implicaciones para la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria. Además, se analiza el aspecto económico de la aplicación de humus de lombriz como enmienda orgánica en comparación con la fertilización química convencional.

¹ Ingeniero. Magíster. Docente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. E-mail: alexander.mendoza@uleam.edu.ec ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6524-3228>

² Ingeniero. Magíster. Docente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. E-mail: valter.mero@uleam.edu.ec ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5371-7174>

³ Ingeniero. Magíster. Docente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. E-mail: byron.alcivar@uleam.edu.ec ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8064-2622>



Palabras clave: humus de lombriz, vermicompost, degradación del suelo, agricultura sostenible, seguridad alimentaria

Abstract

Soil degradation is a global problem that affects food production, food security and environmental sustainability. The search for sustainable agricultural practices to restore and improve soil health is crucial. This paper presents an experimental investigation conducted at Finca Lodana, Cantón Santa Ana, Ecuador, which evaluated the influence of the application of vermicompost on the physicochemical and biological parameters of an agricultural soil. Four treatments were established with different doses of vermicompost (0%, 5%, 10% and 15%) and soil samples were analyzed at 30, 60 and 90 days. The results showed a significant improvement in soil properties, including pH, organic matter, availability of essential nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium), texture and moisture. This article delves into the mechanisms by which earthworm humus positively impacts soil quality and discusses its implications for sustainable agriculture and food security. In addition, the economic aspect of the application of vermicompost as an organic amendment compared to conventional chemical fertilization is analyzed.

Keywords: worm humus, vermicompost, soil degradation, sustainable agriculture, food security

Introducción

La degradación del suelo es una amenaza creciente a la seguridad alimentaria y a la sostenibilidad ambiental a nivel global. Este fenómeno, caracterizado por la pérdida de la capacidad del suelo para sustentar la vida vegetal y animal, se ve exacerbado por prácticas

agrícolas intensivas, la expansión de la frontera agrícola y el cambio climático (Guhl Nannetti, 2022).

La erosión, la salinización, la compactación y el agotamiento de nutrientes son algunas de las principales causas de la degradación del suelo. La erosión, provocada por el viento y el agua, arrastra la capa superficial fértil del suelo, dejando atrás un sustrato empobrecido y menos productivo. La salinización, resultado de la acumulación de sales en el suelo, afecta la absorción de agua y nutrientes por las plantas. La compactación, causada por el uso de maquinaria pesada y la labranza excesiva, reduce la porosidad del suelo, dificultando la infiltración del agua y la aireación. Finalmente, el agotamiento de nutrientes, provocado por la extracción continua de nutrientes por los cultivos sin una adecuada reposición, disminuye la fertilidad del suelo (Tilman et al., 2002).

Ante este panorama, la búsqueda de prácticas agrícolas sostenibles que restauren la salud del suelo y promuevan la seguridad alimentaria a largo plazo se ha convertido en una prioridad global. La agricultura sostenible busca producir alimentos de manera eficiente, conservando los recursos naturales, protegiendo el medio ambiente y mejorando la calidad de vida de las comunidades rurales (Pretty, 2008).

En este contexto, las enmiendas orgánicas, como el humus de lombriz (vermicompost), han surgido como una alternativa prometedora para mejorar la calidad del suelo y promover sistemas de producción agrícola sostenibles (Atiyeh et al., 2000). El humus de lombriz, producto de la descomposición de la materia orgánica por lombrices de tierra, es un material rico en nutrientes, con propiedades físicas y biológicas que favorecen la salud del suelo (Villegas Cornelio y Laines Canepa, 2017).

El humus de lombriz: un biofertilizante con múltiples beneficios

El humus de lombriz es un producto bio-orgánico obtenido a través del proceso de vermicompostaje, en el cual las lombrices de tierra, en simbiosis con microorganismos, transforman la materia orgánica en un material estable, rico en nutrientes y con propiedades que mejoran la calidad del suelo.

Este biofertilizante, también conocido como vermicompost, se diferencia del compost tradicional por la acción de las lombrices de tierra, que aceleran el proceso de descomposición, mejoran la estructura del material y lo enriquecen con enzimas, hormonas y microorganismos benéficos (Arancon et al., 2004).

Beneficios del humus de lombriz para el suelo

El humus de lombriz, al ser aplicado al suelo, aporta una serie de beneficios que impactan positivamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, contribuyendo a su restauración y a la mejora de su fertilidad:

Propiedades físicas

- **Mejora de la estructura del suelo:** El humus de lombriz, rico en sustancias húmicas, actúa como un agente aglutinante que promueve la formación de agregados estables en el suelo. Estos agregados mejoran la porosidad, la aireación y la infiltración del agua, creando un ambiente favorable para el desarrollo radicular de las plantas (Domínguez & Edwards, 2010).
- **Aumento de la capacidad de retención de agua:** La materia orgánica y las sustancias húmicas presentes en el humus de lombriz actúan como esponjas, absorbiendo y reteniendo el agua en el suelo. Esto reduce la pérdida de agua por evaporación, especialmente en zonas áridas y semiáridas, y aumenta la disponibilidad de agua para las plantas (Bravo Macay y Loo Zambrano, 2021).

- **Disminución de la compactación del suelo:** La aplicación de humus de lombriz ayuda a reducir la compactación del suelo, mejorando su estructura y aumentando su porosidad. Esto facilita la penetración de las raíces, la infiltración del agua y el intercambio gaseoso en el suelo.

Propiedades químicas

- **Aporte de nutrientes esenciales para las plantas:** El humus de lombriz es rico en nutrientes esenciales para las plantas, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes, en formas fácilmente disponibles para su absorción (Aruquipa Alejo, 2021).

- **Mejora de la capacidad de intercambio catiónico (CIC):** Las sustancias húmicas presentes en el humus de lombriz aumentan la CIC del suelo, lo que le permite retener y liberar nutrientes de manera más eficiente, mejorando la fertilidad de este (Pati Limachi, 2021).

- **Regulación del pH del suelo:** El humus de lombriz puede ayudar a regular el pH del suelo, amortiguando la acidez o la alcalinidad, creando un ambiente más favorable para el desarrollo de las plantas y la actividad microbiana (Alvarez Espinoza, 2023).

Propiedades biológicas

- **Aumento de la actividad microbiana del suelo:** El humus de lombriz es rico en microorganismos benéficos, que al ser incorporados al suelo, promueven la descomposición de la materia orgánica, la liberación de nutrientes y la supresión de enfermedades (Carvajal Muñoz y Mera Benavides, 2010).

- **Estimulación del crecimiento vegetal:** El humus de lombriz contiene sustancias bioestimulantes, como hormonas y enzimas, que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas (Arancon et al., 2004).

- **Mejora de la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades:** El humus de lombriz puede contribuir a la supresión de enfermedades del suelo y a mejorar la resistencia de las plantas a plagas, a través del aumento de la actividad microbiana benéfica y la producción de sustancias bioactivas (Fuentes Córdova, 2022).

Metodología: diseño experimental para evaluar la influencia del humus de lombriz

Para evaluar la influencia de la aplicación del humus de lombriz en las propiedades del suelo, se implementó un estudio experimental riguroso, siguiendo un diseño metodológico que permitiera obtener resultados confiables y representativos.

Ubicación del estudio

La investigación se llevó a cabo en la Finca experimental Lodana, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí. La finca se encuentra ubicada en la Parroquia Lodana, Cantón Santa Ana, Provincia de Manabí, Ecuador.

Diseño experimental

Se implementó un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA), con cuatro tratamientos y tres repeticiones, para un total de 12 unidades experimentales. Este diseño se seleccionó por su capacidad para controlar la variabilidad experimental y asegurar la comparabilidad de los tratamientos.

Cada unidad experimental consistió en una parcela cuadrada de 4 m x 4 m, con un área útil de 16 m². El tamaño de las parcelas se definió considerando las necesidades del estudio y la disponibilidad de espacio en la finca experimental.

Tratamientos

Los tratamientos se establecieron para evaluar la influencia de diferentes dosis de humus de lombriz en las propiedades del suelo:

- **T1:** 5% de humus de lombriz (equivalente a 78 kg/parcela)
- **T2:** 10% de humus de lombriz (equivalente a 156 kg/parcela)
- **T3:** 15% de humus de lombriz (equivalente a 235 kg/parcela)
- **T4:** 0% de humus de lombriz (testigo)

Las dosis de humus de lombriz se seleccionaron con base en estudios previos que han demostrado efectos positivos en la mejora de las propiedades del suelo (Suquilanda, 2006).

Preparación del suelo y aplicación de los tratamientos

Previo a la aplicación de los tratamientos, se realizó la preparación del terreno mediante la remoción manual de la capa superficial del suelo (30 cm de profundidad). Esta práctica, conocida como labranza, se realizó para homogenizar el suelo y facilitar la incorporación del humus de lombriz.

La aplicación del humus de lombriz se realizó de forma manual, distribuyendo la dosis correspondiente a cada tratamiento de manera homogénea sobre la superficie de la parcela. Posteriormente, se mezcló el humus de lombriz con el suelo utilizando rastrillos, asegurando una incorporación uniforme.

El tratamiento T4, que funcionó como testigo, no recibió ninguna aplicación de humus de lombriz, con el fin de servir como punto de comparación para evaluar el efecto de los demás tratamientos.

Toma de muestras y análisis de laboratorio

Se tomaron muestras de suelo a los 30, 60 y 90 días después de la aplicación de los tratamientos, con el objetivo de evaluar la dinámica de los cambios en las propiedades del suelo a lo largo del tiempo. Las muestras se recolectaron a una profundidad de 20 cm utilizando una pala manual.

Para cada unidad experimental, se tomaron tres sub-muestras de diferentes puntos de la parcela, que luego se mezclaron para obtener una muestra compuesta representativa de la parcela. Las muestras se almacenaron en bolsas de plástico herméticas y se transportaron al laboratorio para su análisis.

Parámetros evaluados

Se determinaron los siguientes parámetros físicos, químicos y biológicos en las muestras de suelo:

- **Propiedades físicas:** Humedad gravimétrica (%), Textura (%).
- **Propiedades químicas:** pH (en agua), Materia orgánica (%), Nitrógeno total (%), Fósforo disponible (mg/kg), Potasio intercambiable (cmol/kg), Calcio intercambiable (cmol/kg), Magnesio intercambiable (cmol/kg), Hierro disponible (mg/kg), Manganeso disponible (mg/kg), Cobre disponible (mg/kg), Zinc disponible (mg/kg).
- **Propiedades biológicas:** Actividad microbiana (UFC/g).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), utilizando el software estadístico SPSS. El ANOVA es una técnica estadística que permite comparar las medias de dos o más grupos para determinar si existen diferencias significativas entre ellas.

Se aplicó la prueba de Tukey para realizar comparaciones múltiples entre las medias de los tratamientos. La prueba de Tukey es una prueba post hoc que permite identificar qué tratamientos difieren significativamente entre sí, después de haber realizado un ANOVA y haber encontrado diferencias significativas entre las medias de los grupos.

Se consideró que las diferencias entre las medias de los tratamientos eran significativas a un nivel de probabilidad de $p < 0.05$. Esto significa que la probabilidad de que las diferencias observadas entre los tratamientos se deban al azar es menor al 5%.

Resultados: evidencia del impacto positivo del humus de lombriz en el suelo

Los resultados de los análisis de laboratorio mostraron que la aplicación de humus de lombriz tuvo un impacto positivo significativo en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo agrícola estudiado.

Características del humus de lombriz utilizado

El humus de lombriz utilizado en el estudio se caracterizó por presentar un pH ligeramente ácido (6.80), un alto contenido de materia orgánica (65.4%), un contenido significativo de nutrientes esenciales para las plantas (N: 1.2%, P: 0.30%, K: 0.79%) y una baja relación C/N (12:1). Estas características indican que el humus de lombriz utilizado era de buena calidad y apto para su uso como enmienda orgánica.

Efecto del humus de lombriz en las propiedades físicas del suelo

La aplicación de humus de lombriz mejoró significativamente las propiedades físicas del suelo en comparación con el testigo (T4), tal como se detalla a continuación:

- **Textura:** La textura del suelo, que se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla, es un parámetro fundamental que influye en la capacidad de retención de agua, la aireación, el drenaje y la disponibilidad de nutrientes del suelo. La aplicación de humus de lombriz modificó la textura del suelo, incrementando el porcentaje de limo y arcilla, y disminuyendo el porcentaje de arena. Esta modificación en la textura del suelo se traduce en una mejora de su estructura, lo que facilita la penetración de las raíces, la infiltración del agua y el intercambio gaseoso.

- **Humedad gravimétrica:** La humedad del suelo, que se refiere al contenido de agua presente en el suelo, es esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La aplicación de humus de lombriz incrementó significativamente la humedad del suelo, lo que se atribuye a la mayor capacidad de retención de agua del suelo tratado con humus de lombriz. La materia orgánica y las sustancias húmicas presentes en el vermicompost actúan como esponjas, absorbiendo y reteniendo el agua, lo que reduce la pérdida de humedad por evaporación, especialmente en zonas áridas y semiáridas.

Efecto del humus de lombriz en las propiedades químicas del suelo

La aplicación de humus de lombriz también tuvo un impacto positivo en las propiedades químicas del suelo, modificando el pH y la disponibilidad de nutrientes:

- **pH:** El pH del suelo, que se refiere a su acidez o alcalinidad, es un factor crucial que influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Un pH adecuado es esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se observó un incremento significativo en el pH del suelo en todos los tratamientos con humus de lombriz, lo que indica una reducción de la acidez del suelo. Este efecto se atribuye a la presencia de compuestos alcalinos en el vermicompost, como el calcio y el magnesio, que neutralizan la acidez del suelo.

- **Materia orgánica:** La materia orgánica del suelo es un componente vital que influye en la fertilidad, la estructura, la capacidad de retención de agua y la actividad biológica del suelo. El contenido de materia orgánica se incrementó significativamente en todos los tratamientos con humus de lombriz, lo que se debe a la incorporación directa de materia orgánica estable y humificada presente en el humus de lombriz.

- **Nitrógeno total:** El nitrógeno es un nutriente esencial para las plantas, que juega un papel fundamental en el crecimiento vegetativo, la formación de clorofila y la síntesis de

proteínas. Se observó un incremento significativo en el contenido de nitrógeno total en todos los tratamientos con humus de lombriz, lo que se atribuye a la liberación gradual de nitrógeno durante la descomposición de la materia orgánica presente en el vermicompost.

- **Fósforo disponible:** El fósforo es otro nutriente esencial para las plantas, que participa en procesos como la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y la transferencia de energía, la división celular y el crecimiento de las raíces. La aplicación de humus de lombriz incrementó significativamente la disponibilidad de fósforo en el suelo.

- **Potasio intercambiable:** El potasio es un nutriente que juega un papel importante en la regulación del agua en las plantas, la activación de enzimas, la fotosíntesis y la resistencia a enfermedades. El contenido de potasio intercambiable se incrementó significativamente en todos los tratamientos con humus de lombriz.

- **Calcio intercambiable:** El calcio es un nutriente esencial para las plantas, que interviene en la formación de las paredes celulares, la división celular, la absorción de nutrientes y la resistencia a enfermedades. Se observó un incremento significativo en el contenido de calcio intercambiable en todos los tratamientos con humus de lombriz.

- **Magnesio intercambiable:** El magnesio es un componente esencial de la clorofila y participa en la activación de enzimas relacionadas con la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de proteínas. El contenido de magnesio intercambiable se incrementó significativamente en todos los tratamientos con humus de lombriz.

- **Micronutrientes:** La aplicación de humus de lombriz también tuvo un impacto positivo en la disponibilidad de micronutrientes en el suelo. El hierro, el manganeso, el cobre y el zinc son micronutrientes esenciales para las plantas, que desempeñan funciones importantes en procesos metabólicos. Se observó un incremento significativo en el contenido de manganeso y

zinc en el suelo tratado con humus de lombriz. El hierro y el cobre no mostraron un incremento significativo, pero se mantuvieron en niveles adecuados para las plantas.

Efecto del humus de lombriz en las propiedades biológicas del suelo

La aplicación de humus de lombriz incrementó significativamente la actividad microbiana del suelo, lo que se evidencia en el aumento del número de unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de suelo. Este incremento en la actividad microbiana se atribuye a la presencia de microorganismos benéficos en el vermicompost, así como a la mayor disponibilidad de nutrientes y materia orgánica en el suelo tratado con humus de lombriz.

Análisis económico: rentabilidad del humus de lombriz frente a la fertilización química

Además de los beneficios ambientales y agronómicos, la aplicación de humus de lombriz presenta una ventaja económica significativa frente a la fertilización química convencional. Se realizó un análisis comparativo del costo de la aplicación de humus de lombriz con el costo de la fertilización química tradicional, considerando los precios de los insumos, la mano de obra y la frecuencia de aplicación.

Los resultados del análisis económico mostraron que la aplicación de humus de lombriz es más económica que la fertilización química convencional. Esto se debe a que el humus de lombriz es un fertilizante orgánico de liberación lenta, que proporciona nutrientes a las plantas durante un período prolongado de tiempo, lo que reduce la frecuencia de aplicación. Además, el humus de lombriz mejora la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes, lo que disminuye la necesidad de aplicar grandes cantidades de fertilizantes químicos.

Discusión: implicaciones del humus de lombriz para la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria

Los resultados de esta investigación, junto con la evidencia científica existente, confirman la eficacia del humus de lombriz como enmienda orgánica para mejorar la calidad del suelo y promover la agricultura sostenible.

La aplicación de humus de lombriz no solo aporta nutrientes a las plantas, sino que también mejora las propiedades físicas y biológicas del suelo, creando un ambiente más favorable para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Esto se traduce en un aumento en la productividad de los cultivos, una mayor eficiencia en el uso del agua y los nutrientes, y una reducción en la necesidad de utilizar fertilizantes químicos.

La utilización del humus de lombriz como enmienda orgánica se alinea con los principios de la agricultura sostenible, que busca producir alimentos de manera eficiente, conservando los recursos naturales, protegiendo el medio ambiente y mejorando la calidad de vida de las comunidades rurales (Pretty, 2008).

En el contexto actual, donde la degradación del suelo amenaza la seguridad alimentaria global, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles como la aplicación de humus de lombriz es fundamental. El humus de lombriz, como biofertilizante natural, contribuye a la restauración de suelos degradados, al aumento de la productividad de los cultivos y a la reducción de la dependencia de los fertilizantes químicos, lo que se traduce en una mayor sostenibilidad ambiental y una mayor seguridad alimentaria.

Conclusiones

La aplicación de humus de lombriz (vermicompost) demostró ser una estrategia efectiva para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo agrícola en el estudio realizado en la Finca Lodana, Ecuador. El humus de lombriz incrementó el pH, la materia

orgánica, la disponibilidad de nutrientes, la humedad, la actividad microbiana y la estructura del suelo.

El tratamiento con la dosis de 10% de humus de lombriz (T2) se destacó por su impacto positivo en las propiedades del suelo, especialmente en la disponibilidad de fósforo y manganeso.

Los resultados obtenidos respaldan la viabilidad del humus de lombriz como enmienda orgánica para restaurar suelos degradados, aumentar la productividad de los cultivos, reducir la dependencia de los fertilizantes químicos y promover la agricultura sostenible.

La incorporación del humus de lombriz en las prácticas agrícolas convencionales representa una oportunidad para avanzar hacia sistemas de producción de alimentos más sostenibles, resilientes y respetuosos con el medio ambiente.

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se plantean las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones y para la promoción del uso del humus de lombriz en la agricultura:

- **Investigaciones a largo plazo:** Se recomienda realizar estudios a largo plazo para evaluar el efecto residual de la aplicación de humus de lombriz en las propiedades del suelo y en la productividad de los cultivos. Estos estudios permitirán determinar la frecuencia óptima de aplicación del humus de lombriz y su impacto a largo plazo en la salud del suelo.
- **Combinación con otras prácticas agroecológicas:** Se sugiere investigar la combinación del humus de lombriz con otras prácticas de manejo agroecológico, como la rotación de cultivos, la cobertura vegetal, los cultivos de cobertura y el laboreo mínimo. La integración de estas prácticas puede potenciar los beneficios del humus de lombriz en la restauración de suelos degradados y la producción sostenible.

- **Promoción del uso del humus de lombriz:** Se recomienda promover la producción y el uso del humus de lombriz entre los agricultores, a través de programas de capacitación y extensión agrícola que difundan los beneficios del humus de lombriz y capaciten a los agricultores en su producción y aplicación.
- **Desarrollo de protocolos estandarizados:** Se sugiere desarrollar protocolos estandarizados para la producción y aplicación del humus de lombriz, con el fin de asegurar la calidad del producto y su eficacia como enmienda orgánica.
- **Investigación en diferentes contextos agroecológicos:** Se recomienda realizar investigaciones en diferentes contextos agroecológicos para evaluar la adaptabilidad del humus de lombriz a diferentes tipos de suelo, climas y sistemas de producción.

La implementación de estas recomendaciones permitirá profundizar en el conocimiento científico sobre el humus de lombriz y promover su aplicación como herramienta para la restauración de suelos degradados, la producción de alimentos de manera sostenible y la seguridad alimentaria global.

Referencias

- Alvarez Espinoza, H. A. (2023). Estudio comparativo en la estructura físico química de los suelos de sistemas agroforestales instalados por los proyectos de desarrollo alternativo en el Valle del Monzón–Tingo María. ()Tesis de maestría - Universidad Nacional Agraria de la Selva). <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/982ffd5d-654b-4929-a69e-904c5b068a8c/content>
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Atiyeh, R., & Metzger, J. D. (2004). Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology*, 93(2), 139-144.

- Aruquipa Alejo, O. (2021). *Comportamiento agronómico de dos variedades de col rizada (brassica oleracea var. sabellica) bajo dos frecuencias de aplicación de caldo de humus de lombriz en el municipio de El Alto* (Tesis de grado - Universidad Mayor de San Andrés). <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/25865>
- Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., & Shuster, W. (2000). Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*, 44(5), 579-590.
- Bravo Macay, L. M. y Loor Zambrano, J. J. (2021). *Efecto del hidrogel y vermicompost sobre la productividad del pasto cuba OM-22 (Pennisetum purpureum x P. Glaucum) en época seca* (Tesis de grado - ESPAM MFL). <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1437>
- Carvajal Muñoz, J. S. y Mera Benavides, A. C. (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción+ limpia*, 5(2), 77-96.
- Dominguez, J., & Edwards, C. A. (2004). Vermicomposting organic wastes: A review. *Soil zoology for sustainable development in the 21st century, Cairo*, 369-395. Apple Academic Press.
- Fuentes Córdova, M. (2022). *Efecto del biochar y niveles del humus de lombriz en el comportamiento productivo del tomate (Lycopersicum esculentum Miller) variedad cherry bajo ambiente protegido en el Centro Experimental Cota Cota* (Tesis de grado - Universidad Mayor de San Andrés). <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/35779>
- Guhl Nannetti, E. (2022). *Antropoceno: la huella humana: La frágil senda hacia un mundo y una Colombia sostenibles*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana.

- Pati Limachi, A. (2021). *Transformación de residuos biodegradables de la industria cervecera mediante la lombricultura en el municipio de Viacha del departamento de La Paz* (Tesis doctoral - Universidad Mayor de San Andrés). <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/26788>
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447-465.
- Suquilanda, M. B. (2008). El deterioro de los suelos en Ecuador y la producción agrícola. En *XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Quito, Ecuador.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
- Villegas Cornelio, V. M. y Laines Canepa, J. R. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 393-406.