

Lombricultura: Aplicaciones, prácticas y beneficios sostenibles.

Nombre del estudiante

Bryan Steve Rodriguez Gutierrez

Programa de Ingeniería Ambiental
Faculta de ingeniería Ambiental y Civil
Universidad Antonio Nariño

Bogotá D.C.
2023

Lombricultura: Aplicaciones, prácticas y beneficios sostenibles
relacionados con producción de proteína y reducción de impactos
ambientales en la industria.

Bryan Steve Rodriguez Gutierrez

Marcos Andres Ramos Castañeda

Documento presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Ambiental.

Programa de Ingeniería Ambiental
Faculta de ingeniería Ambiental y Civil
Universidad Antonio Nariño
Bogotá D.C.
2023

Lombricultura: Aplicaciones, prácticas y beneficios sostenibles relacionados con producción de proteína y reducción de impactos ambientales en la industria.

Vermiculture: Applications, practices and sustainable benefits related to protein production and reduction of environmental impacts in the industry.

Rodriguez Gutierrez, Bryan Steve ; Ramos Castañeda, Marcos Andres.

¹ Universidad Antonio Nariño, Colombia, brodriguez83@uan.edu.co

Resumen: En el contexto de una investigación exhaustiva sobre la lombricultura, se estableció como objetivo evaluar su viabilidad y aplicaciones en el tratamiento de residuos orgánicos, así como su potencial como fuente de proteína, su capacidad para mejorar el estado del suelo. Para lograr esto, se implementó una metodología que comenzó con una revisión preliminar de la literatura, seguida de la selección y organización de información clave relacionada con la fuente de proteína, el agente descomponedor, el aprovechamiento de residuos, la reducción de contaminación y las aplicaciones no convencionales. La caracterización de datos y la descripción de los resultados llevaron a la formulación de una propuesta concreta para la aplicación de la lombricultura en la gestión de residuos orgánicos, destacando sus beneficios ambientales y su potencial para abordar desafíos actuales. Como principales conclusiones, se destaca que la lombricultura se presenta como una técnica sostenible y versátil con aplicaciones significativas en la gestión de residuos, y su gran aprovechamiento como fuente de proteína abre nuevas perspectivas en la producción de alimentos sostenibles. La investigación destaca la importancia de explorar en mayor profundidad esta práctica y promover su implementación en múltiples contextos para abordar cuestiones medioambientales.

Abstract: In the context of comprehensive research on vermicomposting, the objective was to assess its feasibility and applications in organic waste management, its potential as a protein source, and its ability to enhance soil quality. To achieve this, a methodology was implemented, commencing with a preliminary literature review, followed by the selection and organization of key information related to protein source, decomposing agent, waste utilization, pollution reduction, and unconventional applications. Data characterization and description of findings led to the formulation of a specific proposal for the practical application of vermicomposting in organic waste management, emphasizing its environmental benefits and its potential to address current challenges. The primary conclusions underscore that vermicomposting emerges as a sustainable and versatile technique with significant applications in waste management, and its potential as a protein source opens new prospects in sustainable food production. The research highlights the importance of delving deeper into this practice and promoting its implementation in various contexts to address critical environmental issues.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la producción de proteínas a partir de fuentes tradicionales como la carne de res, cerdo, pollo, soja, camarones, leche y huevos plantea una serie de desafíos ambientales, económicos y sociales significativos. Estos desafíos van desde la deforestación y el agotamiento de recursos hídricos hasta la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación del suelo y el agua. La demanda creciente de proteínas y el enfoque industrial en la producción de alimentos han dado lugar a una serie de problemas que requieren soluciones sostenibles.

La lombricultura, una técnica que involucra la cría de lombrices, en particular la lombriz roja californiana, para la conversión de residuos orgánicos en valioso vermicompost, se destaca como una alternativa prometedora para abordar estos desafíos. Esta práctica no solo contribuye a la gestión de residuos orgánicos, sino que también ofrece una fuente de proteína valiosa en forma de lombrices, al tiempo que promueve la economía circular y prácticas sostenibles.

Este estudio se centra en explorar en detalle cómo la lombricultura, especialmente a través de la cría de lombriz roja californiana, puede contribuir a la reducción de residuos orgánicos, fomentar la economía circular y promover prácticas sostenibles relacionadas con la producción de proteína. Se examinará el estado actual de la lombricultura a nivel global y se analizará su potencial como una solución integral para los problemas y desafíos que enfrenta la sociedad en la actualidad. Esta investigación tiene como objetivo proporcionar una visión sólida de cómo la lombricultura puede desempeñar un papel fundamental en la creación de sistemas alimentarios más sostenibles y en la mitigación de impactos negativos en el medio ambiente, la economía y la sociedad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la FAO durante su evaluación de los recursos forestales del año 2020 pudo registrar la mayor cantidad de pérdida neta de bosques que fue en el continente de África con 3.9 millones de hectáreas, Actualmente la producción de fuentes de proteína como la carne de res, cerdo y pollo está teniendo un gran impacto ambiental, esto debido a la cría excesiva de ganado el cual está trayendo varios problemas como lo son la deforestación que se da por la apertura de espacio tanto para cría y cultivo de alimentos para el ganado, esto mismo genera otra problemática que es el consumo de recursos hídricos ya que para esta producción de carne es requerida una gran cantidad de agua, tanto para el ganado como para el cultivo de alimento para estos; la ganadería actualmente es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero en especial el metano y dióxido de carbono los cuales son gases que contribuyen al cambio climático (Tigmasa y K.P, 2022).

(Teubal y M, 2003) Indica que se encuentran problemáticas generadas por la producción de tofu una proteína de origen vegetal sin embargo la producción de soja que es el ingrediente principal del tofu tiene ciertas problemáticas por su uso priorizado de agroquímicos que son utilizados a gran escala, el uso intensivo de agroquímicos como pesticidas y fertilizantes pueden contaminar el suelo y agua, añadiendo a esto las plantaciones de soja tienen una gran producción

preferible en monocultivo que indica primeramente la gran extensión y deforestación de bosques tropicales para poder cultivarlo, impactando la biodiversidad y agotando los nutrientes del suelo ocasionando una erosión, perdiendo calidad y capacidad a largo plazo por la siembra constante del mismo cultivo que es la soja.

A nivel marino se encuentra una problemática relacionada con los camarones, esta tiene varios desafíos a nivel ambiental primeramente por su degradación de manglares, esto debido a que este ecosistema costero el cual actúa como vivero de una cantidad importante de especies marinas, estos manglares son reemplazados por granjas de camarones, se crean estanques de cultivo reemplazando y perdiendo el ecosistema ya presente, el uso de químicos para mejorar el crecimiento de estos crustáceos así mismo el uso de grandes cantidades de alimento como peces pequeños son usados para alimentar los camarones poniendo en presión a algunas poblaciones de peces generando una posible sobrepesca (Elizabeth y A. T. E., 2021).

La proteína proveniente de la leche y huevos tiene bastantes retos a nivel industrial directamente relacionados al trato y condiciones de la cría intensiva, esto en enfoque industrial donde los animales se crían generalmente en condiciones de hacinamiento excesivo que puede resultar en estrés para los animales, como un destete temprano donde las crías de las vacas son separadas de las madres; el uso de antibióticos y hormonas las cuales ayudan a prevenir enfermedades en condiciones de hacinamiento y hormonas para el crecimiento excesivo de estos animales, contando también el impacto que genera a recursos como el agua, tierra, producción de gases de efecto invernadero (García et al., 2007).

A nivel de residuos orgánicos se tienen bastantes retos los cuales abarcan aspectos ambientales, económicos y sociales, la contaminación ambiental, la emisión de gases de efecto invernadero, la escasez de espacio en vertederos, la pérdida de recursos naturales, los altos costos de gestión, la falta de conciencia y educación, las oportunidades perdidas para la economía circular, las desigualdades sociales y el impacto en la salud pública.

Ante estos distintos problemas se quiere realizar un estudio detallado para identificar ¿Cómo contribuye la lombricultura a partir de lombriz roja californiana, a la reducción de residuos orgánicos, al fomento de la economía circular y a prácticas sostenibles relacionadas con producción de proteína?, teniendo en cuenta la posición actual de la lombricultura a nivel global

y su poco uso como alternativa a los problemas y problemáticas a los cuales se enfrenta la sociedad actualmente.

MARCO CONCEPTUAL

Las proteínas, macromoléculas esenciales, son responsables de una amplia gama de funciones dentro de las células de organismos vivos. Estas están mayormente constituidas por secuencias lineales de aminoácidos, los cuales representan los componentes básicos fundamentales de las proteínas. Los aminoácidos se unen entre sí mediante enlaces llamados enlaces peptídicos, formando así una cadena polipeptídica. (González et al., 2007)

Orígenes

La lombricultura, que consiste en criar y utilizar lombrices para descomponer materia orgánica y producir abono natural llamado "lombricompuesto", tiene sus orígenes en la observación de la actividad de las lombrices en la naturaleza. Durante siglos, las personas notaron cómo las lombrices descomponen hojas y otros materiales orgánicos en el suelo, lo que mejoraba la fertilidad del suelo. A medida que la agricultura se industrializó en el siglo XIX, científicos y agricultores comenzaron a investigar más a fondo la función de las lombrices en la mejora del suelo. Con el tiempo, se desarrollaron métodos controlados para criar lombrices con fines de producción de abono. Hoy en día, la lombricultura se ha convertido en una práctica común y sostenible para manejar residuos orgánicos y producir abono de alta calidad. (Schuldt y M, 2006)

Campo de Estudio:

La lombricultura es una disciplina que se sitúa en el cruce de la agricultura sostenible, la gestión de residuos y la biología de los organismos descomponedores. Su campo de estudio se enfoca en la cría y manejo de lombrices para la descomposición de materia orgánica y la

producción de vermicompost, un valioso fertilizante orgánico. Además, la lombricultura abarca la producción de lixiviados, que pueden utilizarse como fertilizantes líquidos y bioestimulantes en la agricultura.

Aspectos Teóricos:

La lombricultura se basa en principios biológicos, químicos y ecológicos clave. Algunos aspectos teóricos fundamentales incluyen:

- **Biología de las lombrices:** El conocimiento de la biología, el ciclo de vida y los hábitos alimenticios de las lombrices es esencial para comprender cómo estas especies transforman los residuos orgánicos en vermicompost.
- **Compostaje biológico:** La lombricultura se basa en el proceso de compostaje biológico, en el que las lombrices actúan como descomponedoras, descomponiendo la materia orgánica en nutrientes disponibles para las plantas.
- **Beneficios medioambientales:** Los aspectos teóricos también abordan los beneficios medioambientales de la lombricultura, como la reducción de la cantidad de residuos orgánicos enviados a vertederos, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y la mejora de la calidad del suelo.

Tipos de lombrices:

Lombrices Endógeas: Estas lombrices suelen vivir y excavar túneles en el suelo, a menudo a niveles más profundos, como en la capa superior del suelo. Son conocidas como lombrices "ingenieras" del suelo debido a su hábito de mezclar y mover material orgánico y mineral mientras excavan.

Lombrices Anécicas: Estas lombrices son conocidas por su hábito de construir galerías verticales profundas en el suelo, que pueden ir hasta varios metros de profundidad. Viven en estas galerías y, a menudo, se alimentan de materia orgánica que arrastran hacia abajo, como hojas caídas. Un ejemplo común de lombriz anécica es la lombriz de tierra común (*Lumbricus terrestris*).

Lombrices Epi-Endógeas: Estas lombrices tienen hábitos mixtos, pasando tiempo tanto en la superficie del suelo como en las capas más profundas. Excavan galerías horizontales y verticales, mezclando materiales orgánicos e inorgánicos. La lombriz roja de California (*Eisenia fetida*) es un ejemplo de lombriz epi-endógea.

Lombrices Epigeas: A diferencia de las anteriores, estas lombrices prefieren habitar en la capa superficial del suelo y rara vez excavan túneles profundos. Se alimentan de material orgánico en descomposición que se encuentra en la superficie del suelo, como hojas caídas o residuos vegetales. La lombriz roja de manzana (*Dendrobaena veneta*) es un ejemplo de lombriz epigea.

(Medina et al., 1999) Indica que el porcentaje de proteína puede ser de hasta un 65% a base de la harina generada por la lombriz, todo esto con la lombriz *Eisenia fetida*, es importante tener en cuenta que las lombrices son consideradas una excelente fuente de proteínas, lo que las hace valiosas en aplicaciones como la alimentación animal, la producción de alimento para peces y, en algunos casos, incluso como una fuente proteica para consumo humano, especialmente en algunas culturas y regiones.

Fases de la lombricultura:

Fase Mesofílica: En esta etapa, las condiciones son moderadas y las temperaturas oscilan entre 20-40 grados Celsius. Durante este período, se produce una descomposición biológica activa mediante la actividad de una variedad de microorganismos, como bacterias y hongos. Estos microorganismos descomponen y desintegran aún más los residuos orgánicos, preparando el sustrato para la fase termofílica.

Fase Termofílica: Esta fase implica temperaturas más altas, típicamente entre 40-70 grados Celsius. En esta etapa, microorganismos termofílicos, como ciertas bacterias, se vuelven dominantes y aceleran la descomposición de los materiales orgánicos. Las altas temperaturas ayudan a matar patógenos y semillas de malezas, y a descomponer compuestos más complejos.

Las glándulas calcíferas son estructuras presentes en el sistema excretor de algunas especies de lombrices de tierra y otros anélidos. Estas glándulas tienen varias funciones importantes en el cuerpo de estos organismos, una de las funciones principales de las glándulas calcíferas es mantener el equilibrio del pH en el cuerpo de la lombriz y la estabilización de la acidez del suelo cuando las lombrices digieren materia orgánica, liberan ácidos en su tracto digestivo (Feijo et al, 2010).

VARIABLES EN EL CONTEXTO DEL PROBLEMA:

La lombricultura se enfrenta a una serie de variables y desafíos en su contexto. Algunas de las variables clave incluyen las variables ambientales. Estas incluyen la temperatura que debe ser entre el 12°C a 25°C, humedad del 70%, pH óptimo de 7 y calidad del sustrato, que influyen en la actividad y reproducción de las lombrices. Así mismo podemos encontrar las variables de alimentación. La dieta de las lombrices es crucial para su desempeño. La disponibilidad de residuos orgánicos adecuados y la relación carbono/nitrógeno en la alimentación son variables críticas.

Adicionalmente existen las variables de gestión: Estas incluyen la densidad de población de lombrices, el tamaño y diseño del lecho de lombrices, y la gestión de plagas y olores. Las variables de calidad del producto se relacionan con la calidad del vermicompost y los lixiviados producidos. La concentración de nutrientes, la presencia de patógenos y la madurez del vermicompost son variables importantes, por último las variables económicas y sociales que

tienen costos de inversión y operación, así como el mercado para los productos de la lombricultura, también son variables críticas en el contexto de la lombricultura.

ESTADO DEL ARTE

En el estado del arte se valida el acumulado de distintos textos de diferentes autores a nivel global sobre un tema en específico, nos permite adoptar una postura crítica frente a los diferentes estudios realizados y lo que aún falta por realizar.

En China se realizó un estudio de biorremediación del suelo a partir de compostaje *Remediation effectiveness of vermicompost for a potentially toxic metal-contaminated tropical acidic soil in China*. La contaminación por metales potencialmente tóxicos (PTM) y la acidificación del suelo representan una seria amenaza para la sostenibilidad agrícola en regiones tropicales de todo el mundo. En este estudio, se llevó a cabo una investigación en la región tropical de Hainan, China, con el objetivo de remediar un suelo ácido mediante la aplicación de vermicompost (VC) producido a partir del vermicompost de estiércol de ganado (Liu et al., 2019).

Para evaluar la eficacia de la VC en la reducción de los PTM disponibles en el suelo, se realizaron experimentos de incubación utilizando suelos enriquecidos con cadmio (Cd), cromo (Cr) o níquel (Ni), así como suelo de campo contaminado con Cd. Se llevaron a cabo análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo antes y después de la enmienda con VC para comprender los mecanismos detrás de la inmovilización de PTM los resultados revelaron que la enmienda con VC condujo a una reducción significativa en las cantidades extraíbles de Cd, Ni y Cr en los suelos. Por ejemplo, el Cd extraíble con CaCl_2 se redujo en un 49,3% cuando se aplicó VC al suelo de campo contaminado con Cd. Los estudios termodinámicos demostraron que el VC tenía una alta capacidad de adsorción de Cd, Ni y Cr, con una adsorción máxima, obtenida a partir del modelo de Langmuir, de 33,45, 26,17 y 20,88 mg/g, respectivamente.

La disminución de los metales extraíbles con CaCl₂ después de la enmienda con VC estuvo en línea con el orden de adsorción máxima de VC para Cd, Ni y Cr. Además, la enmienda de lombricompost aumentó el pH del suelo en una cantidad que osciló entre 0,7 y 1,5 unidades este aumento de pH se correlacionó positivamente con la cantidad de VC aplicado y, a su vez, se relaciona negativamente con la disminución de los metales extraíbles estos hallazgos sugieren que la adsorción de metales sobre VC y el aumento del pH del suelo después de la enmienda con VC son factores probables que contribuyen a la menor disponibilidad de Cd, Ni y Cr en el suelo contaminado. Además, la adición de sustancias orgánicas estables y la posterior formación de agregados hidroestables también pueden ser beneficiosas para inmovilizar PTM y mejorar la calidad del suelo en el entorno tropical estudiado.

Para una óptima reproducción en el sur de África se realizaron algunos estudios como “*The suitability of Eudrilus eugeniae, perionyx excavatus and Eisenia fetida (oligochaeta) for vermicomposting in southern africa in terms of their temperature requirements*” de Reinecke, A. J., Viljoen, S. A., & Saayman, R. J. (1992), que hablan de una reproducción de algunas lombrices rojas como la eisenia fetida, fueron diversos países y temperaturas las que fueron estudiadas entre partes de Namibia, Mozambique a lo largo de las zonas costeras, las zonas costeras occidentales de Sudáfrica desde Port Nolloth alrededor del extremo sur y partes de las zonas costeras orientales en una franja estrecha.

La reproducción de lombrices rojas, especialmente la especie *Eisenia fetida*, es de gran importancia en la lombricultura debido a su capacidad para procesar material orgánico y producir vermicompost de alta calidad. En el contexto del sur de África, se han realizado diversos estudios para comprender mejor cómo estas lombrices se reproducen en una variedad de condiciones geográficas y climáticas.

Diversidad Geográfica de los Estudios

Los estudios se llevaron a cabo en varias ubicaciones a lo largo del sur de África, lo que permitió obtener información valiosa sobre la adaptabilidad de la *Eisenia fetida* en diferentes entornos. Esto incluyó regiones de Namibia, Mozambique y zonas costeras de Sudáfrica. La diversidad geográfica de los estudios es importante porque estas áreas pueden tener variaciones significativas en cuanto a temperatura, humedad y otros factores ambientales que afectan la reproducción de las lombrices (Reinecke et al., 1992).

Impacto de las Condiciones Climáticas

Uno de los aspectos más destacados de estos estudios es la influencia de las condiciones climáticas en la reproducción de las lombrices rojas. Las diferentes zonas climáticas, desde las áreas costeras occidentales hasta las zonas costeras orientales, presentan variaciones en las temperaturas y las estaciones del año. Estos factores climáticos pueden influir en la tasa de reproducción y en el rendimiento general de las lombrices.

Importancia de los Resultados

Los resultados de estos estudios son de gran relevancia para la lombricultura en el sur de África y pueden ayudar a los agricultores y emprendedores a optimizar sus prácticas de cría de lombrices. Comprender cómo las lombrices responden a diferentes condiciones climáticas y geográficas puede ser fundamental para el éxito de la producción de vermicompost y la gestión de residuos orgánicos en la región.

Sin embargo también se debate su uso comercial en el estudio *Cash cropping worms: How the Lumbricus terrestris bait worm market operates in Ontario, Canada* ya que en su famoso gusano de cebo es de los mayores productores a nivel mundial para el uso de cebo en la pesca, en este caso particular es actualizar y ampliar el análisis de cómo se organizan la tierra y el trabajo para exportar más de 700 millones de lombrices de tierra. Además, se busca proporcionar a los investigadores una mejor comprensión de las especies de lombrices utilizadas, en particular, *L. terrestris*, y se destacan varias vías relevantes para futuras investigaciones sobre la cría de estas lombrices, su cultivo y el potencial de estrategias de remediación ambiental (Schmid y M., 2022).

Las granjas lecheras, en particular, pueden producir grandes cantidades de *L. terrestris* mediante el manejo de las condiciones del campo utilizando un enfoque llamado bioestimulación, que involucra procesos biofísicos in situ para estimular el crecimiento continuo de las lombrices. Además, se señala que este enfoque puede ser más económico y eficiente en la producción masiva de gusanos para satisfacer diversas demandas comerciales, académicas y ambientales en comparación con otros métodos, se debate cómo poder dar a cabo el mejor uso de la lombriz de tierra.

En Costa Rica la investigación sobre el desarrollo y la capacidad reproductiva de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco tipos de materiales orgánicos como sustratos se centró en evaluar cómo crecen, se reproducen y se adaptan las lombrices *Eisenia foetida* en cinco tipos diferentes de materiales orgánicos. Estos materiales incluyen estiércol de vaca, borra de café, residuos de banano, hojas de plantas ornamentales y desechos domésticos. Antes de usarlos, estos materiales se prepararon adecuadamente y se colocaron en cajones de madera en volúmenes de 0.03 metros cúbicos. Se introdujeron 600 lombrices maduras en cada cajón, lo que equivale a una alta densidad de 20,000 lombrices por metro cúbico. El proceso de lombricompostaje se llevó a cabo durante tres meses, con tres momentos de muestreo en ese período (Durán et al., 2009).

Durante el estudio, se observó que el tamaño promedio de las lombrices variaba según el tipo de material en el que se encontraban. Los resultados estadísticos agruparon los materiales en dos categorías: "doméstico" y "banano" con lombrices más grandes (0.58 y 0.66 gramos, respectivamente), mientras que "broza", "estiércol" y "ornamental" tenían lombrices más pequeñas (0.40, 0.42 y 0.36 gramos, respectivamente).

La reproducción y la supervivencia al final del estudio variaron según el tipo de material. Las lombrices en el material de "broza" tuvieron la población final más grande, mientras que las del material "doméstico" tuvieron la población más pequeña (16900 y 408 lombrices de las 600 iniciales, respectivamente).

Se encontró una relación inversa entre la reproducción y el tamaño de las lombrices. En resumen, se concluyó que tanto el tamaño de las lombrices como su tasa de reproducción están influenciados por el tipo de material en el que se desarrollan.

Este estudio es relevante porque destaca cómo la lombricultura puede ser una forma efectiva de manejar los desechos orgánicos y convertirlos en abono orgánico de alta calidad. También se señala que las lombrices pueden ser una fuente de proteínas y una fuente de ingresos en actividades como la avicultura y la piscicultura debido a su alto contenido de proteínas. La elección del material y las condiciones adecuadas son cruciales para el éxito en la producción de lombricompost y la cría de lombrices.

Venezuela realizó un estudio dirigido a la Optimización de la operación de secado de la carne de lombriz (*Eisenia andrei*) para producir harina destinada al consumo animal en la producción de harina de lombriz, que se utiliza como fuente de proteínas en la alimentación animal, es esencial controlar varios parámetros para mejorar el proceso, reducir los costos de fabricación y mantener el valor nutricional de la harina. En este estudio, se investigaron tres temperaturas (60, 80 y 100 °C) en combinación con diferentes tiempos de secado para obtener harina con un contenido de humedad final del 12%. Se probaron dos tipos de secadores: una estufa de laboratorio con ventilación de la marca PROLABO y un secador de bandejas con recirculación de aire diseñado por la Facultad de Ingeniería Química (Mogollón et al., 2015).

Se determinó el contenido de proteínas en las harinas resultantes utilizando el método AOAC. Luego, se realizó un análisis de electroforesis (SDS-PAGE) para evaluar cómo la temperatura y el tiempo de secado afectaron el perfil de las proteínas en la harina. Al comparar los dos equipos de secado, no se encontraron diferencias significativas en términos de temperatura y tiempo de secado. Sin embargo, se observó que a medida que aumentaba la temperatura de secado, se producía una degradación de las proteínas, lo que indica que la condición óptima de secado para conservar el valor nutricional del producto era de 60 °C.

Además, se realizaron pruebas de prensado antes del secado para eliminar parte del agua de las muestras. Se aplicaron tres niveles de presión diferentes (9,7 kg y 14,9 kg) al sistema durante una hora antes del secado según las especificaciones mencionadas anteriormente. Se encontró que alrededor del 6% de las proteínas se perdieron en el líquido retirado durante el proceso de prensado. Aunque el tiempo de secado se redujo en aproximadamente un 10% en comparación con las muestras sin prensar, debido a esta reducción tan pequeña del tiempo de

secado y a la pérdida de proteínas, no se recomienda la operación de prensado para optimizar el secado en este proceso de fabricación.

Se llevó a cabo una investigación en Ecuador para validar el uso de compost y vermicompost como mejoradores del suelo en la recuperación de un terreno degradado por el cultivo de *Gypsophila Paniculata*. El estudio evaluó el impacto de la aplicación de vermicompost y compost, ambos derivados de residuos de poda de jardín y estiércol vacuno, en un área de Río Verde, Ecuador, donde se había cultivado exclusivamente *Gypsophila* durante dieciocho años. El experimento se realizó en un invernadero utilizando macetas con 1.5 kilogramos de suelo. Se aplicaron diferentes cantidades de enmienda (0.25%, 0.50%, 1.00%, 2.00%) junto con un grupo control sin enmiendas para sembrar plantas de *Gypsophila* durante tres ciclos de cosecha. Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con nueve tratamientos y cuatro repeticiones. (Elizabet y A. T. E, 2021).

La caracterización de las enmiendas mostró que el vermicompost tenía un pH más bajo, menor salinidad, menor concentración de sodio y mayor capacidad de retención de humedad en comparación con el compost. Los resultados indicaron que el tratamiento con compost al 0.50% fue más efectivo en términos de altura y peso seco del tallo en las dos primeras cosechas, mientras que el tratamiento con vermicompost al 0.50% mostró un mejor rendimiento en la tercera cosecha.

Tras las cosechas 1 y 3, se analizaron los sustratos y se compararon con las características iniciales. Se observó que las enmiendas ayudaron a reducir la densidad del suelo, aumentaron el contenido de materia orgánica y redujeron el pH del suelo.

La *Gypsophila* es un cultivo que requiere suelos con buen contenido de materia orgánica y una serie de nutrientes, y su cultivo continuo puede llevar a la degradación del suelo. La introducción de enmiendas orgánicas, como el compost y el vermicompost, se considera una estrategia efectiva para mejorar las propiedades del suelo y su capacidad para mantener la productividad agrícola. Además, estos materiales orgánicos pueden contribuir a la reducción de la densidad del suelo y mejorar su contenido de materia orgánica, lo que beneficia a las plantas y al ecosistema en general.

En Colombia, se hace referencia en el documento al proceso de transformación de biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) mediante vermicompostaje y su posterior aplicación en la germinación, especialmente en áreas ubicadas a altitudes superiores a 1800 metros sobre el nivel del mar (M.S.N.M.). La importancia del tratamiento de aguas residuales y cómo este proceso genera grandes volúmenes de lodos orgánicos que deben ser gestionados adecuadamente para evitar impactos negativos en el medio ambiente. Estos lodos pueden ser sometidos a procesos de estabilización para convertirlos en biosólidos, que son residuos orgánicos que pueden utilizarse de manera segura en diversas actividades (Gonzales y M. N, 2015).

El vermicompostaje es una técnica que utiliza lombrices para descomponer materiales orgánicos y convertirlos en humus, que es un abono orgánico valioso. Se destaca cómo el vermicompostaje puede ser beneficioso en la germinación de plantas al mejorar las propiedades del suelo y su estructura.

Se menciona la necesidad de crear un manual de procesos y procedimientos para estandarizar las actividades relacionadas con el vermicompostaje en Colombia. Este manual sería una herramienta importante para secuenciar los procesos, retroalimentar y mejorar el sistema, y garantizar un uso eficaz de los recursos en la gestión de residuos del tratamiento de aguas residuales.

En resumen, se aborda la importancia de la gestión adecuada de lodos orgánicos generados en el tratamiento de aguas residuales a través del vermicompostaje, y se destaca la necesidad de establecer un manual para estandarizar y mejorar estos procesos en Colombia.

OBJETIVOS

GENERAL

Revisar en detalle la lombricultura como una técnica sostenible para la gestión de residuos orgánicos, su utilización como fuente de proteína y la mejora de la calidad del suelo, explorando sus aplicaciones prácticas y sus beneficios ambientales y agrícolas.

ESPECÍFICOS

1. Revisar de forma preliminar la literatura y analizar críticamente la información disponible sobre temas clave.
2. Filtrar la información de acuerdo con los temas requeridos: Fuente de proteína, agente descomponedor, aprovechamiento de residuos, reducción de contaminación y aplicaciones o tecnologías no convencionales
3. Organizar y caracterizar la información disponible clasificando y detallando datos relevantes para un mejor entendimiento.
4. Describir la información caracterizada por capítulos dando una organización de manera estructurada para un mejor entendimiento.
5. Realizar la propuesta de aplicación de los hallazgos obtenidos.

METODOLOGÍA

Etapa 1: Revisión Preliminar de Literatura:

Se inició la investigación realizando una revisión exhaustiva de la literatura científica, estudios de caso y documentos pertinentes relacionados con el vermicompostaje y su aplicación en diferentes áreas. Este proceso se llevará a cabo mediante el acceso a bases de datos

académicas, recursos en línea y bibliotecas digitales. Se recopilaron y catalogaron las fuentes de información relevantes.

Etapa 2: Filtrar la Información:

Clasificar la información recopilada de acuerdo con los temas clave requeridos para el estudio, tales como la fuente de proteína (materia orgánica), el agente descomponedor (lombrices), el aprovechamiento de residuos, la reducción de la contaminación y las aplicaciones en áreas no convencionales. Durante este proceso, se eliminará la información que no se ajuste a los temas de interés.

Etapa 3: Organización y Caracterización de la Información:

Organizar la información seleccionada en categorías coherentes y claras, como fuentes de proteína, procesos de vermicompostaje, resultados de investigación, aplicaciones específicas, entre otros. Cada fuente de información será caracterizada en términos de su relevancia, calidad y enfoque.

Etapa 4: Descripción de la Información Caracterizada por Capítulos:

Elaborar un documento estructurado que incluya los capítulos necesarios para presentar la información de manera lógica y coherente. Cada capítulo abordará un aspecto específico, como las fuentes de proteína, los procesos de vermicompostaje, los resultados de investigaciones previas, las aplicaciones prácticas y los beneficios ambientales. Se proporcionará una descripción detallada de cada tema, respaldada por datos y hallazgos de investigaciones previas.

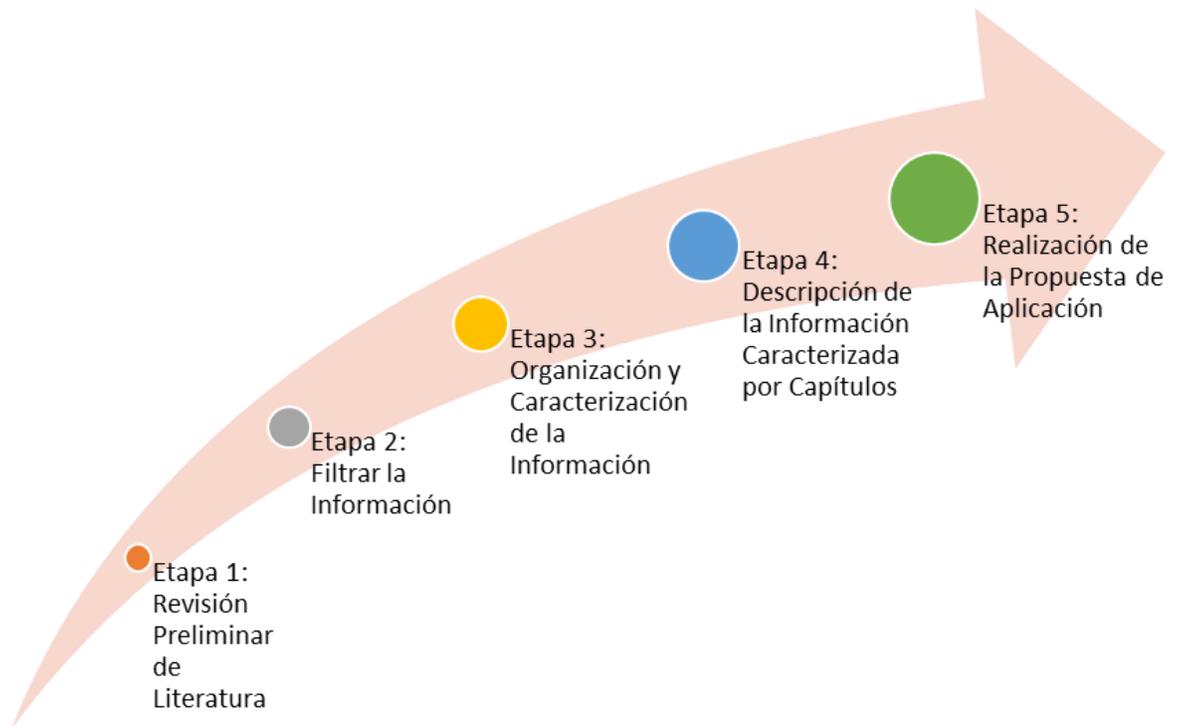
Etapa 5: Realización de la Propuesta de Aplicación:

Utilizar la información revisada y caracterizada para desarrollar una propuesta concreta para la aplicación del vermicompost en el tratamiento de aguas residuales en Colombia. Esta propuesta deberá detallar la forma en que se podría implementar la técnica de manera efectiva, considerando recursos disponibles, regulaciones ambientales y beneficios esperados. Se identificarán posibles desafíos y limitaciones, así como estrategias para abordarlos.

Etapa 6: Conclusiones y Recomendaciones:

Concluir el informe destacando las conclusiones clave derivadas de la revisión de la literatura y la propuesta de aplicación. Se proporcionarán recomendaciones basadas en la evidencia recopilada, resaltando posibles áreas de investigación futura y desarrollo.

Esta metodología proporciona una guía sólida y coherente para llevar a cabo la revisión de la aplicación del vermicompostaje en el tratamiento de aguas residuales en Colombia, desde la revisión de la literatura hasta la formulación de una propuesta práctica. La atención se centrará en los objetivos establecidos y en el uso efectivo de la información disponible para alcanzar esos objetivos.



RESULTADOS

La investigación se inició con una revisión exhaustiva debido a que se debía filtrar la información en temas relevantes para el trabajo, se debía leer cada documento para saber de qué trataba la literatura científica, estudios de caso y documentos relacionados con la lombricultura y su aplicación en diversas áreas. Esta revisión se realizó con el objetivo de recopilar información relevante y establecer una base sólida para el estudio.

Para llevar a cabo esta revisión, se utilizaron palabras clave relacionadas con la lombricultura y sus aplicaciones. Estas palabras clave se desarrollaron a partir de temas clave identificados previamente, como la agricultura, el tratamiento de residuos orgánicos, fuente de proteína, agente descomponedor, suplemento alimenticio, la mejora de la calidad del suelo, la gestión de desechos, el impacto ambiental y los beneficios para la salud.

Se accedió a una variedad de fuentes académicas y recursos en línea, que incluyeron bases de datos científicas, bibliotecas digitales universitarias y sitios web de organizaciones de investigación. Estas fuentes proporcionaron acceso a una amplia cantidad de documentos académicos relacionados con el vermicompostaje.

Las búsquedas se realizaron de manera sistemática y organizada, explorando múltiples bases de datos y motores de búsqueda en línea. A medida que se obtenían los resultados de las búsquedas, se evaluaba la relevancia de cada artículo o documento, descartando aquellos que no estaban directamente relacionados con los objetivos de la investigación.

Las fuentes de información relevantes se recopilaron y catalogaron en una base de datos o sistema de archivos. Esto incluyó detalles como el título, autor, año de publicación, resumen y enlace o referencia bibliográfica de cada fuente.

Una vez recopiladas las fuentes de información, se procedió a analizar y sintetizar los hallazgos. Esto implicó identificar tendencias, patrones y resultados clave relacionados con la lombricultura y sus aplicaciones.

Tabla 1. Cantidad de fuentes investigadas

Nombre del documento	Aprovechamiento de las lombrices	Fuente de proteína	Agente descomponedor	Reducción de contaminación	Suplemento alimenticio	Aplicaciones alternativas
An integrated crop-vermiculture system for treating organic waste on fields (Wu, Y., Zhang, N., Wang, J., & Sun, Z. 2012)						
Crianza de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) para la producción de carne usando cuatro tipos de sustratos en la EEAS (Sanchez Pozo, V. 2012).						
Lombriz roja californiana y azolla-anabaena como sustituto de la proteína convencional en dietas para pollos de engorde. Rodríguez, L., Salazar, P., & Arango, M. F. (1995).						
Remediation effectiveness of vermicompost for a potentially toxic metal-contaminated tropical acidic soil in China Liu, B., Wu, C., Pan, P., Fu, Y., He, Z., Wu, L., & Li, Q. (2019)						
Decentralized management of urban food waste: A proof of concept with neighborhood-scale vermicomposting in Montreal, Canada Schmid, M. (2022).						
Efecto de la aplicación de un vermicompost en las propiedades químicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano Mogollón Sandoval, J. P., Martínez, A. E., & Torres, D. G. (2015)						
Proceso de transformación de biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con vermicompostaje y su aplicación en germinación, caso Colombia a altitudes mayores a 1800 M.S.N.M. González, M. N. (2015).						
The suitability of Eudrilus eugeniae, Perionyx excavatus and Eisenia fetida (Oligochaeta) for vermicomposting in southern Africa in terms of their temperature requirements (Reinecke, A. J., Viljoen, S. A., & Saayman, R. J. 1992)						
LAS PROTEÍNAS EN LA NUTRICIÓN						
Análisis De Los Impactos Ambientales En El Proceso De Producción Del Camarón En La Granja “Rahimar Rocafuerte” Del Cantón						

Rioverde. Elizabeth, A. T. E. (2021).						
Vermicompost, the story of organic gold: A review Adhikary, S. (2012).						
Composting and vermicomposting of sewage sludge at various C/N ratios: Technological feasibility and end-product quality. Dume, B., Hanc, A., Svehla, P., Michal, P., Chane, A. D., & Nigussie, A. (2023).						
Toccalino, P. A., Agüero, M. C., Serebrinsky, C. A., & Roux, J. P. (2004). Comportamiento reproductivo de lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) según estación del año y tipo de alimentación.						
FERRUZZI C., 1986, Manual de lombricultura. 1ª ed. Madrid. Mundi-Prensa, p. 13-16, 24, 25, 85						
OLIVARES S., ANDRADE M., ZACARIAS I. 1994. Manual de autoinstrucción de necesidades nutricionales y calidad de la dieta. 1ª ed. Chile. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos, pp. 55-57						
Caballero Roque, A., & Palacios Pola, G. (2015). Pasta artesanal enriquecida con harina de lombriz (<i>Eisenia foetida</i>), para consumo humano.						
Importancia de la lombriz roja californiana <i>Eisenia fetida</i> y su comercialización BRIONES ARRIAGA, N. K. (2023).						
LUNA-CANCHARI, G. I. N. A., & MENDOZA-SOTO, N. I. C. O. L. E. (2020). Condiciones ambientales y microorganismos adecuados para la obtención de humus de calidad y su efecto en el suelo agrícola. Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo, 6(1).						
Méndez-Moreno, O. R. L. A. N. D. O., León-Martínez, N. S., Gutiérrez-Miceli, F. A., Rincón-Rosales, R., & Álvarez-Solís, J. D. (2012). Efecto de la aplicación de humus de lombriz en el crecimiento y rendimiento de grano del cultivo de maíz. Gayana Bot, 69, 49-54.						
Lombricultura en pulpa de café						

CRECIMIENTO Y REPRODUCCIÓN DE LA LOMBRIZ ROJA (<i>Eisenia foetida</i>) EN CINCO SUSTRATOS ORGÁNICOS Durán, L., & Henríquez, C. (2009).						
Lombricultura. Teoría y práctica						
Special Issue: Vermiculture & sustainable agriculture. Rubber leaf litters (<i>Hevea brasiliensis</i> , var RRIM 600) as vermiculture substrate for epigeic earthworms, <i>Perionyx excavatus</i> , <i>Eudrilus eugeniae</i> and <i>Eisenia fetida</i> : The 7th international symposium on earthworm ecology · Cardiff · Wales · 2002						
Ovando, J. A. V., García, J. A. L., & Silvano, E. J. Efecto del proceso de secado de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en sus características nutricionales.						
Mejiaz, J. O., Lopez, J. R., Ávila, J. A., Rivera, J. M., Cesar, E. S., & Vazquez, J. C. (2008). COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (<i>Eisenia fetida</i>) EN DIFERENTES SUSTRATOS. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 7(1), 15-19.						
Villegas-Cornelio, V. M., & 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.						
Domínguez, J., Lazcano, C., & Gómez-Brandón, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas: Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. Acta zoológica mexicana, 26(SPE2), 359-371.						
Mamani-Mamani, G., Mamani-Pati, F., Sainz-Mendoza, H., & Villca-Huanaco, R. (2012). Comportamiento de la lombriz roja (<i>Eisenia</i> spp.) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. Journal of the Selva Andina Research Society, 3(1), 44-54.						
Yadav, A., & Garg, V. K. (2011). Recycling of organic wastes by employing <i>Eisenia fetida</i> . Bioresource technology, 102(3), 2874-2880.						

Feijoo, A., & Gil, L. V. C. (2010). Tres nuevas especies de Righiodrilus Zicsi 1995 (Annelida, Oligochaeta: Glossoscolecidae) de la Amazonía colombiana. Acta Amazonica, 40, 231-240.						
Medina, A. L., & Araque, J. (1999). Obtención, composición química, funcional, perfiles electroforéticos y calidad bacteriológica de la carne y harina de lombriz" Eisenia faetida". Rev. Fac. Farm.(Merida), 31-8.						

Nota. Esta tabla es el producto del filtrado de información relacionada con los temas buscados en la lombricultura con nombres y palabras clave.

Los resultados de la revisión de la literatura se documentaron en forma de resúmenes, notas y extractos relevantes de los documentos consultados. Esta documentación permitió organizar la información de manera efectiva para su posterior utilización en el informe de investigación.

Antes de comenzar a clasificar la información, es importante recopilar todos los datos relevantes relacionados con el estudio. Estos datos pueden provenir de diversas fuentes, como investigaciones previas, estudios de campo, entrevistas, experimentos, documentos académicos y más.

La identificación de temas clave el primer paso es identificar los temas clave que son esenciales para el estudio, los temas clave son: fuente de proteína, agente descomponedor (lombrices), aprovechamiento de residuos, reducción de la contaminación y aplicaciones en áreas no convencionales.

Una vez que se han identificado los temas clave, el siguiente paso es extraer de la información recopilada los datos que estén directamente relacionados con estos temas. Esto implica leer, analizar y seleccionar la información que sea pertinente para cada uno de los temas identificados.

Durante este proceso, se debe descartar cualquier información que no esté relacionada

con ninguno de los temas clave. Esto ayuda a mantener el enfoque en la información más importante y a reducir la sobrecarga de datos.

Una vez que se ha extraído y depurado la información relevante, se organiza en categorías o secciones separadas según los temas clave. Esto facilita el acceso y la referencia rápida a los datos relacionados con cada tema.

Con la información organizada por tema, se puede realizar un análisis más detenido de cada área. Esto implica la revisión de datos cuantitativos y cualitativos, la identificación de patrones, la elaboración de conclusiones y la generación de hipótesis o recomendaciones según sea necesario.

Finalmente, se puede sintetizar la información clasificada y analizada para crear una monografía de los temas hallados, los cuales se presentarán en forma de capítulos que resaltan los hallazgos clave en cada uno de los temas de interés. Este resumen puede servir como base para la toma de decisiones, la elaboración de políticas.

En primer lugar, es necesario definir las categorías en las que se organizará la información. Estas categorías deben estar alineadas con los objetivos del estudio como, "Fuentes de proteína", "Procesos de vermicompostaje", "Proteína de lombriz", y "Aplicaciones específicas".

Una vez que se han establecido las categorías, cada conjunto de datos o información recopilada se asigna a la categoría correspondiente. Por ejemplo, la información sobre diferentes tipos de materia orgánica utilizada como fuente de proteína se agrupó bajo la categoría "Fuentes de proteína".

Cada fuente de información debe ser caracterizada en términos de su relevancia, calidad y enfoque. Esto implica evaluar si la información es directamente relevante para la categoría a la que se asignó, la calidad de la fuente (como si proviene de estudios científicos revisados por pares o de fuentes menos confiables), y el enfoque específico que aborda (por ejemplo, si se centra en la eficiencia del vermicompostaje o en sus beneficios medioambientales).

Es posible que no todos los datos sean igualmente importantes o relevantes. En esta etapa, se puede priorizar la información según su importancia para los objetivos de la

investigación. Los datos de alta calidad y relevancia deberían recibir mayor atención.

Para facilitar la accesibilidad y comprensión de la información, se puede crear una estructura organizativa que refleje las categorías y subcategorías identificadas. Esto puede ser en forma de un esquema, una tabla o una base de datos, dependiendo de la cantidad y complejidad de los datos, una vez que la información se ha organizado en categorías, se puede realizar un análisis más profundo para identificar tendencias, patrones o relaciones entre los datos.

Propuesta

Esta monografía quiere brindar una propuesta innovadora en el ámbito de la lombricultura y la ingeniería genética tiene como objetivo principal abordar de manera integral dos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) cruciales de las Naciones Unidas: el ODS 2 (Hambre Cero) y el ODS 13 (Acción por el Clima). La iniciativa propone una visión única y transformadora que va más allá de las prácticas convencionales de la lombricultura para ofrecer soluciones creativas a desafíos apremiantes en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental.

En primer lugar, el enfoque del ODS 2: Hambre Cero se materializa a través de la exploración de las lombrices como una fuente alternativa y sostenible de proteínas para alimentos balanceados. Este planteamiento se alinea con la creciente necesidad de abordar la escasez de alimentos nutritivos y diversificar las fuentes proteicas en las dietas humanas. La propuesta incluye la aplicación de técnicas avanzadas de ingeniería genética para maximizar la calidad nutricional de las proteínas producidas por las lombrices. Este enfoque innovador tiene el potencial de contribuir significativamente a la mejora de la seguridad alimentaria, especialmente en comunidades que enfrentan desafíos nutricionales.

En segundo lugar, el proyecto aborda el ODS 13: Acción por el Clima a través de estrategias destinadas a reducir la huella ambiental asociada con la agricultura convencional. La combinación de la lombricultura y la generación de biofertilizantes a partir de residuos orgánicos procesados es una pieza fundamental de esta estrategia. La lombricultura, cuando se optimiza

genéticamente, puede desempeñar un papel clave en la descomposición eficiente de los residuos, mientras que los biofertilizantes producidos actúan como alternativas sostenibles a los fertilizantes químicos tradicionales. Este enfoque busca mejorar la salud del suelo y reducir la dependencia de insumos agroquímicos, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y resilientes.

En primer lugar, se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica para comprender en profundidad la intersección entre la lombricultura, la ingeniería genética y los ODS 2 y 13. La fase de investigación también involucra la exploración de las tecnologías emergentes en ingeniería genética aplicadas a organismos como las lombrices, evaluando su viabilidad y posibles impactos.

La etapa de desarrollo y prueba será crucial para aplicar las estrategias identificadas. Esto incluirá la experimentación con cepas genéticamente modificadas de lombrices para evaluar su eficacia en la producción de proteínas mejoradas y su adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales. Al mismo tiempo, se implementará un sistema de producción de biofertilizantes, optimizando los procesos de descomposición y generación de nutrientes esenciales para las plantas.

La última fase se centrará en la validación y aplicación a mayor escala de las soluciones propuestas. Se buscarán colaboraciones con comunidades locales, agricultores y actores clave en la cadena alimentaria para implementar y evaluar el impacto del proyecto. Además, se abordarán consideraciones éticas y regulatorias asociadas con la ingeniería genética y se trabajará en la concientización y aceptación pública de estas tecnologías.

CAPÍTULO 1. La lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) y lombricultura.

La lombriz de tierra ha sido un tema de interés para pensadores como Pascal y Thoreau a lo largo de la historia. Sin embargo, solo en las últimas décadas, los investigadores de todo el mundo han centrado su atención en el valioso papel que desempeña en la nutrición de los campos agrícolas. La gestión de residuos se considera esencial para construir una sociedad sostenible, y una parte importante de este proceso implica redirigir los componentes biodegradables de los

residuos urbanos lejos de los vertederos hacia métodos alternativos de manejo, como el vermicompostaje (Adhikary y S, 2012).

Hábitat y Comportamiento:

Las lombrices rojas californianas, también conocidas como lombrices rojas de California o *Eisenia fetida*, son ampliamente utilizadas en el vermicompostaje debido a su comportamiento dócil y su preferencia por los restos orgánicos en descomposición. Estas lombrices son originarias de Europa pero se han adaptado a una amplia variedad de climas en todo el mundo.

Son más activas durante la noche o en condiciones de oscuridad. Prefieren temperaturas moderadas, generalmente entre 15°C y 25°C, y evitan la luz directa del sol.

Crecimiento y Reproducción:

Las lombrices rojas californianas alcanzan su tamaño adulto de 5 a 9 cm y un diámetro de 3 a 5 mm alrededor de los 7 meses de edad la reproducción es rápida y prolífica, en cuanto a su reproducción estas se fecundan cada 7 a 10 días en los cuales nacen entre 4 a 20 lombrices a los 21 días (Toccalino et al., 2004).

Longevidad:

A diferencia de algunas otras especies de lombrices, las lombrices rojas californianas tienen una vida útil más larga, viviendo alrededor de 16 años en condiciones ideales. Esto las hace aún más efectivas en el proceso de vermicompostaje.

Manejo:

Las lombrices rojas californianas son adecuadas para la cría en contenedores o lechos de lombrices, lo que facilita su manejo en comparación con algunas lombrices de tierra que pueden escapar fácilmente.

La lombricultura ha tenido la creciente necesidad de alcanzar la sostenibilidad ambiental y, al mismo tiempo, mejorar la cantidad, calidad y eficiencia en el tratamiento de residuos para generar fertilizantes respetuosos con el medio ambiente ha generado una creciente demanda. El

lombricompostaje ha surgido como una tecnología altamente efectiva para la conversión de una variedad de residuos, incluyendo los de origen industrial, doméstico, municipal y agrícola, en productos fertilizantes de alto valor (Enebe et al., 2023).

Se ha observado que para producir lombri-humus de alta calidad, es esencial controlar parámetros como temperatura, humedad y pH. El humus resultante mejora significativamente la calidad del suelo, contribuye a la infiltración del agua y contiene minerales y enzimas beneficiosas. Además, la lombriz roja californiana se utiliza como fuente de fertilizante orgánico, lo que le otorga ventajas en el comercio agrícola, alineado con la tendencia hacia productos orgánicos en la agricultura.

(Briones y N. K 2023) Indican la importancia de la lombriz roja californiana se refleja en su contribución al enriquecimiento del suelo y su capacidad para producir fertilizantes orgánicos de alta calidad. Estos productos mejoran la calidad del suelo y reducen la dependencia de fertilizantes químicos, alineándose con la creciente demanda de productos orgánicos en la agricultura. La lombriz también ofrece ventajas fiscales y comerciales, lo que la convierte en un activo valioso en el comercio de insumos agrícolas.

CAPÍTULO 2. Fuente de proteína

Es cierto que la carne de lombriz es una fuente de proteína rica y de alta calidad. La proteína de lombriz tiene un valor entre el 62% y 82% superando así a proteínas como la harina de pescado y la soja. Esto la hace atractiva no sólo para la alimentación animal, sino también como un posible recurso alimentario para los seres humanos (Sanchez et al., 2012).

Según la FAO, en los países en desarrollo, la malnutrición y el hambre a menudo se deben a la falta de micronutrientes y al bajo consumo de alimentos ricos en proteínas y otros nutrientes esenciales. Para abordar este problema, se busca desarrollar alimentos de consumo masivo que sean nutricionalmente más ricos y que contribuyan a mejorar la salud de las personas. Las proteínas son especialmente importantes debido a su papel en el crecimiento, mantenimiento y reparación del cuerpo, así como en la producción de hormonas, enzimas y otros componentes esenciales (Olivares et al., 1994)

La lombricultura, que es el cultivo de lombrices, se ha transformado en una biotecnología en la que las lombrices se utilizan para convertir desechos en productos orgánicos, como la "lombricomposta" o el abono de lombriz. Esta técnica ha ganado importancia debido a la riqueza microbiológica de las excretas de las lombrices.

Para abordar la falta de proteínas en la dieta de los humanos, se ha explorado el uso de alimentos de bajo costo y consumo generalizado, como la pasta. La pasta es una fuente rica en proteínas, pero a menudo carece de lisina, un aminoácido esencial. Para mejorar su contenido proteico, se ha enriquecido la harina de cereales con harina de lombriz roja californiana, que es conocida por su alto contenido de proteínas, aminoácidos, ácidos grasos esenciales y micronutrientes como hierro y calcio. Esta harina de lombriz se ha utilizado no solo en la alimentación animal, sino también en la alimentación humana debido a sus beneficios nutricionales

Los resultados indican que la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es una fuente proteica valiosa y no convencional de más del 60% de proteína. Esta harina tiene el potencial de enriquecer productos a base de cereales, lo que podría ser una alternativa importante para mejorar la calidad nutricional de los alimentos y proporcionar apoyo nutricional, especialmente en comunidades marginadas y con altos niveles de desnutrición, se recomiendan aproximadamente 0.8 gramos de proteína por kilogramo de peso corporal. (Caballero et al., 2015).

La proteína de lombriz solamente no es para consumo humano también hay estudios donde los estudios indican que fuentes proteicas no convencionales como la lombriz puede utilizarse para reemplazar parcialmente la proteína en la dieta de pollos de engorde, especialmente en la etapa de finalización (Rodríguez et al., 1995). Además, se ha recomendado en estudios previos que la *E. fetida* puede sustituir fuentes de proteína en la alimentación convencional de peces sin afectar negativamente su crecimiento y reproducción (Stafford y Tacon, 1985).

Para la pesca la *Eisenia fetida* es una especie de lombriz que ha demostrado tener niveles recomendables de proteínas, aminoácidos esenciales y lípidos, similares a los encontrados en la harina de pescado, lo que se ajusta a los requerimientos nutricionales de muchas especies de peces (Vodounnou et al., 2016).

CAPÍTULO 3. Impacto en la agricultura y suelo

La sobrepoblación Latinoamérica ha generado un aumento significativo en la generación de residuos sólidos, y la mala gestión de estos residuos es un problema destacado. Para abordar esta problemática, se han propuesto soluciones que involucran el uso de biotecnologías, como el compostaje, en el cual se emplean organismos como las lombrices en un proceso conocido como vermicompostaje. Entre las diversas especies de lombrices que se pueden utilizar en el vermicompostaje, las más eficientes y ampliamente comercializadas son las lombrices rojas, con ejemplos notables como la *Eisenia fetida*, también conocida como lombriz roja californiana.

(Luna et., 2020) El proceso de obtención de humus a través de estas lombrices se debe a su capacidad para descomponer los residuos orgánicos en nutrientes esenciales para el suelo. Este proceso ocurre en el corto sistema digestivo de las lombrices. Para lograr un desarrollo adecuado de estos organismos, es crucial tener en cuenta factores ambientales como la temperatura, humedad, estructura del sustrato, pH y conductividad del entorno. Estas condiciones ambientales son fundamentales para el éxito del vermicompostaje.

El humus de lombriz es rico en elementos solubles orgánicos, destacando los humatos clave, como los ácidos húmicos y fúlvicos. Cuando se aplica en forma líquida al suelo, estimula la humificación y mineralización de los residuos vegetales, lo que significa que favorece la descomposición de la materia orgánica en el suelo. Esto tiene un impacto positivo en la mejora de la calidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Mendez et al., 2012), (Somarriba & Guzmán., 2004).

Varios estudios han resaltado los impactos positivos de agregar humus de lombriz a sustratos de cultivo, promoviendo el crecimiento y desarrollo de diversas especies vegetales. Estos beneficios se atribuyen a múltiples mecanismos, como la provisión de nutrientes esenciales, la mejora de las propiedades físicas del sustrato y la introducción de microorganismos benéficos para las plantas, que aumentan la disponibilidad de nutrientes y generan sustancias con efectos fitohormonales, estimulando así el crecimiento. Recientemente, se ha profundizado en la investigación sobre el rol de las sustancias húmicas en la liberación de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal (PGRs). No obstante, la existencia de resultados variables en la literatura subraya la necesidad de investigar más a fondo estos efectos y definir de manera más precisa el concepto de vermicompost. Esto implica explorar nuevas vías de investigación para comprender mejor cómo el humus de lombriz puede influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas, y en última instancia, optimizar su aplicación en la agricultura y la horticultura. (Dominguez et al., 2010).

La vermicultura es un proceso en el que los residuos orgánicos se descomponen de manera aeróbica, aprovechando la actividad biológica de las lombrices y los microorganismos (Garg, Gupta, 2009), se define como la "oxidación y estabilización de material orgánico mediante la colaboración de lombrices y microorganismos mesófilos". El vermicompost producido por la actividad de las lombrices es rico en nutrientes macro y micro, vitaminas, hormonas de crecimiento y enzimas (Barik et al., 2011).

El vermicompost implica la descomposición de residuos orgánicos mediante la actividad de lombrices y ha demostrado ser efectiva en el procesamiento de lodos de aguas residuales, materiales de cervecerías, residuos de papel, residuos urbanos, desechos de alimentos y animales, así como residuos hortícolas de papas procesadas, plantas muertas y la industria de los champiñones (Dominguez, Edwards, 2004).

El uso de vermicompost en la producción agrícola tiene múltiples beneficios, como la reducción del uso de agua para riego, la disminución de ataques de plagas, la prevención de ataques de termitas, la reducción del crecimiento de malezas, la aceleración de la germinación de semillas y el rápido crecimiento y desarrollo de plántulas, un mayor número de frutos por planta (en cultivos de hortalizas) y un mayor número de semillas por año (en cultivos de cereales). Las lombrices y el vermicompost pueden impulsar la producción hortícola sin necesidad de productos químicos agrícolas (Olle, M, 2019).

CAPÍTULO 4. Gestión de residuos orgánicos y emisiones.

La industrialización, la urbanización y el crecimiento demográfico a gran escala han afectado la relación saludable entre el hombre y la naturaleza. Diversas actividades humanas generan enormes cantidades de desechos sólidos en todo el mundo, y su gestión se ha convertido en un desafío técnico y ecológico para todos. La mayoría de los desechos se eliminan de manera ecológicamente insostenible mediante vertidos a cielo abierto o quemas. Estos métodos de eliminación de desechos ambientalmente insalubres pueden provocar la pérdida de nutrientes presentes en los desechos y pérdidas económicas (Elvira et al., 1995).

La conversión de un residuo en materiales beneficiosos es un componente importante de los principios de recuperación y reciclaje de recursos. La utilización científica de desechos sólidos orgánicos puede proporcionar nutrientes para el crecimiento de las plantas y mejorar la salud del suelo (Yadav et al., 2011).

La lombricultura en el procesamiento de residuos orgánicos es viable bajo ciertas condiciones y resulta efectiva en el tratamiento, transformación y aprovechamiento de estos residuos. Dependiendo del tipo de residuo orgánico utilizado, este sistema puede aumentar los rendimientos, generar beneficios económicos y mejorar las propiedades físicas del suelo. Además, la lombricultura produce fertilizantes ricos en nutrientes para el suelo (Wu et al., 2012).

El vermicompostaje representa un método ecológico y económicamente viable que implica la descomposición y estabilización de desechos orgánicos mediante la colaboración entre lombrices y microorganismos. Este proceso resulta en la producción de vermicomposta, un producto final de textura fina y homogénea. Esta eficaz tecnología convierte los residuos orgánicos en recursos valiosos para la restauración ecológica y la mejora de la fertilidad del suelo. Desde sus orígenes en civilizaciones antiguas hasta su aplicación en invernaderos de alta tecnología, el vermicompostaje emerge como una alternativa innovadora en la transformación de desechos sólidos en productos estables. Además, se destacan las cualidades de diversas especies de lombrices y su papel crucial en el reciclaje de materia orgánica. La revisión aborda también la utilización de residuos orgánicos convencionales como alimento para las lombrices, lo cual, tras su estabilización, enriquece el suelo y fomenta la producción de cultivos, señalando el potencial del vermicompostaje en la generación de fertilizantes orgánicos, alimentos saludables y proteínas de alta calidad para la alimentación animal (Villegas et al., 2017).

En el vermicompostaje, los microorganismos descomponen la materia orgánica de forma bioquímica, y las lombrices desempeñan un papel clave al fragmentar y preparar el sustrato para que los microorganismos puedan llevar a cabo su actividad de degradación de manera más efectiva. Es decir, las lombrices preparan el terreno para que los microorganismos hagan su trabajo (Domínguez, 2004; Aira et al., 2009; Gómez-Brandón et al., 2011a).

Algunos métodos de recuperación de residuos como la pirólisis o la recuperación de materiales complejos como los plásticos de baja densidad tienen algunos inconvenientes en el ámbito económico, ante la compleja y costosa situación descrita, se plantean soluciones técnicas, y entre ellas, destacan los sistemas biológicos de tratamiento, como el compostaje y el vermicompostaje (compostaje con lombrices).

Estas alternativas buscan reducir los volúmenes de residuos, al mismo tiempo que mitigan la toxicidad y patogenicidad de los desechos sólidos generados. Estos métodos biológicos ofrecen enfoques más sostenibles y efectivos para abordar los desafíos relacionados con la gestión de residuos (Mamani et al., 2012).

También se estudia la posibilidad de trabajar con otras áreas ambientales según (Dume et al., 2023) a pesar de que los lodos de depuradora (sólidos suspendidos) contienen una alta concentración de contaminantes, también son una fuente rica en nutrientes esenciales para las plantas, lo que les otorga un potencial para mejorar la fertilidad del suelo. Sin embargo, es fundamental someter los sólidos suspendidos a un proceso adicional de pre compostaje y vermicompostaje para garantizar que sean seguros para su uso en cultivos destinados a la alimentación.

CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado una propuesta sólida para la aplicación práctica de la lombricultura, resaltando sus beneficios ambientales. Esta propuesta destaca la importancia de la lombricultura como una técnica sostenible que puede desempeñar un papel fundamental en la gestión de residuos orgánicos, proporcionar una valiosa fuente de proteína y mejorar la calidad del suelo. Además, se enfatiza su potencial para aplicaciones no convencionales y tecnologías innovadoras, lo que demuestra su versatilidad y capacidad para abordar desafíos ambientales de manera efectiva.
- La revisión exhaustiva de la literatura sienta una base sólida para entender la lombricultura y sus aplicaciones, destacando su importancia en la gestión de residuos, la producción de proteína y la mejora de la calidad del suelo.
- El proceso de filtrado permite enfocar la revisión en temas clave, como la función de la lombricultura como fuente de proteína, agente descomponedor de residuos, reducción de contaminación y aplicaciones no convencionales, lo que ayudó a resaltar sus beneficios más relevantes.

- La organización coherente de la información facilita la comprensión de los datos y permite identificar patrones y tendencias en la literatura, lo que contribuye a una revisión más efectiva.
- La estructuración en capítulos permite una presentación ordenada de la información, lo que simplifica su acceso y navegación, destacando los diferentes aspectos de la lombricultura.
- La propuesta elaborada destaca cómo la lombricultura puede ser aplicada en la práctica para abordar desafíos ambientales, demostrando su viabilidad como técnica sostenible.

DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES

La lombricultura se implementa como alternativa sostenible y altamente beneficiosa en la gestión de residuos orgánicos, proporcionando una fuente de proteína valiosa a través de la producción de nutrientes ricos en macro y micronutrientes. Además, esta práctica juega un papel fundamental en la mejora de la salud del suelo en la agricultura, promoviendo un ciclo de vida más ecológico y eficiente para los residuos orgánicos y beneficiando tanto al medio ambiente como a la producción agrícola (Markam, S, 2021)

Investigación Continua

Apoya la investigación constante para mejorar la eficiencia de la lombricultura y su impacto en la agricultura. Esto puede incluir estudios para perfeccionar los procesos de producción, identificar nuevas aplicaciones de productos derivados de lombrices y comprender mejor los beneficios para el suelo.

Educación y Concienciación

Desarrolla programas de educación ambiental y agrícola para concienciar a la comunidad sobre la importancia de la lombricultura y la gestión sostenible de residuos orgánicos. Esto puede incluir talleres, seminarios y materiales educativos para agricultores y el público en general.

Regulación y Normativas

Asegurarse de cumplir con las regulaciones locales y nacionales en cuanto a la gestión de residuos orgánicos y la producción de productos derivados de lombrices y colaborar con las autoridades pertinentes para garantizar el cumplimiento de todas las normativas.

Colaboración Interdisciplinaria

Fomenta la colaboración entre expertos de diferentes campos, como investigadores, agrónomos, ambientalistas y autoridades locales, trabajar de manera interdisciplinaria puede ayudar a abordar de manera más completa los desafíos y oportunidades de la lombricultura, así como a desarrollar soluciones innovadoras

REFERENCIAS

- Adhikary, S. (2012). Vermicompost, the story of organic gold: A review
- BRIONES ARRIAGA, N. K. (2023). Importancia de la lombriz roja californiana *Eisenia fetida* y su comercialización (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2023)
- Barik, T., Gulati, J.M.L., Garnayak, L.M., Bastia, D.K.2011. Production of vermicompost from agriculturalwastes. – Agric. Reviews, 31(3):172–183.

- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 1-15.

- Caballero Roque, A., & Palacios Pola, G. (2015). Pasta artesanal enriquecida con harina de lombriz (*Eisenia foetida*), para consumo humano.

- Dume, B., Hanc, A., Svehla, P., Michal, P., Chane, A. D., & Nigussie, A. (2023). Composting and vermicomposting of sewage sludge at various C/N ratios: Technological feasibility and end-product quality. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 263, 115255.

- Domínguez, J., Lazcano, C., & Gómez-Brandón, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas: Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta zoológica mexicana*, 26(SPE2), 359-371.

- Dominguez, J., Edwards, C.A. 2004. Vermicomposting organic wastes: A review. – In: *Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st Century*

- Durán, L., & Henríquez, C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 275-281.

- Elizabeth, A. T. E. (2021). Análisis De Los Impactos Ambientales En El Proceso De Producción Del Camarón En La Granja “Rahimar Rocafuerte” Del Cantón Rioverde (Doctoral dissertation, Ecuador-PUCESE-Escuela de Gestión Ambiental)

- Elvira, C., Dominguez, J., Sampedro, L., & Mato, S. (1995). Vermicomposting for the paper pulp industry. *Biocycle*, 36(6), 62-63.

- Enebe, M. C., & Erasmus, M. (2023). Vermicomposting technology-A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. *Journal of Environmental Management*, 345, 118585.

- Feijoo, A., & Gil, L. V. C. (2010). Tres nuevas especies de *Righiodrilus* Zicsi 1995 (Annelida, Oligochaeta: Glossoscolecidae) de la Amazonía colombiana. *Acta Amazonica*, 40, 231-240.

- Garg, V.K., Gupta, R. 2009. Vermicomposting of agroindustrial processing waste. In: *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation*. – Springer, Dordrecht, pp. 431–456, doi: 10.1007/978-1-4020-9942-7_24

- González-Torres, L., Téllez-Valencia, A., Sampedro, J. G., & Nájera, H. (2007). Las proteínas en la nutrición. *Revista salud pública y nutrición*, 8(2), 1-7.

- González, M. N. (2015). Proceso de transformación de biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con vermicompostaje y su aplicación en germinación, caso Colombia a altitudes mayores a 1800 M.S.N.M.

- Liu, B., Wu, C., Pan, P., Fu, Y., He, Z., Wu, L., & Li, Q. (2019). Remediation effectiveness of vermicompost for a potentially toxic metal-contaminated tropical acidic soil in China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 182, 109394.

- LUNA-CANCHARI, G. I. N. A., & MENDOZA-SOTO, N. I. C. O. L. E. (2020). Condiciones ambientales y microorganismos adecuados para la obtención de humus de calidad y su efecto en el suelo agrícola. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(1).

- Mogollón Sandoval, J. P., Martínez, A. E., & Torres, D. G. (2015). Efecto de la aplicación de un vermicompost en las propiedades químicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Acta agronómica*, 64(4), 315-320.

- Méndez-Moreno, O. R. L. A. N. D. O., León-Martínez, N. S., Gutiérrez-Miceli, F. A., Rincón-Rosales, R., & Álvarez-Solís, J. D. (2012). Efecto de la aplicación de humus de lombriz en el crecimiento y rendimiento de grano del cultivo de maíz. *Gayana Bot*, 69, 49-54.

- Mamani-Mamani, G., Mamani-Pati, F., Sainz-Mendoza, H., & Villca-Huanaco, R. (2012). Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 3(1), 44-54.

- Musyoka, S. N., Liti, D. M., Ogello, E., & Waidbacher, H. (2019). Utilization of the earthworm, *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) as an alternative protein source in fish feeds processing: A review. *Aquaculture Research*, 50(9), 2301-2315.

- Masciandaro, G., Ceccanti, B., & Garcia, C. (1997). Soil agro-ecological management: fertirrigation and vermicompost treatments. *Bioresource Technology*, 59(2-3), 199-206.

- Medina, A. L., & Araque, J. (1999). Obtención, composición química, funcional, perfiles electroforéticos y calidad bacteriológica de la carne y harina de lombriz "Eisenia faetida". Rev. Fac. Farm.(Merida), 31-8.

- Markam, S. (2021). Vermicompost, its importance and benefit in agriculture.

- Olle, M. (2019). Vermicompost, its importance and benefit in agriculture.

- OLIVARES S., ANDRADE M., ZACARIAS I. 1994. Manual de autoinstrucción de necesidades nutricionales y calidad de la dieta. 1ª ed. Chile. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos, pp. 55-57

- Reinecke, A. J., Viljoen, S. A., & Saayman, R. J. (1992). The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* and *Eisenia fetida* (Oligochaeta) for vermicomposting in southern africa in terms of their temperature requirements. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(12), 1295–1307. doi:10.1016/0038-0717(92)90109-b

- Rodríguez, L., Salazar, P., & Arango, M. F. (1995). Lombriz roja californiana y azolla-anabaena como sustituto de la proteína convencional en dietas para pollos de engorde. *Livest Res Rural Develop*, 7(3), 145-149.

- Schuldt, M. (2006). *Lombricultura. Teoría y práctica*. Ediciones Mundi-Prensa.

- Sanchez Pozo, V. (2012). Crianza de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* nc) para la producción de carne usando cuatro tipos de sustratos en la EEAS.

- Schmid, M. (2022). Decentralized management of urban food waste: A proof of concept with neighborhood-scale vermicomposting in Montreal, Canada.

- SOMARRIBA, R. R. & G.G. GUZMÁN. 2004. Análisis de la influencia de la cachaza de azúcar y estiércol de bovino como sustrato de lombriz roja californiana para producción de humus. Trabajo de diploma. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 55 pp

- Stafford, E. A., & Tacon, A. J. (1985). The nutritional evaluation of dried earthworm meal (*Eisenia fetida*, Savigny 1826) included at low levels in production diets for rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Aquaculture Research*, 16(3), 213–222.

- Tigmasa Paredes, K. P. (2022). Contribución de las emisiones de gas metano producidas por el ganado bovino al cambio climático. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e215.

- Teubal, M. (2003). Soja transgénica y crisis del modelo agroalimentario argentino. *Realidad Económica*, 196, 52-74

- Toccalino, P. A., Agüero, M. C., Serebrinsky, C. A., & Roux, J. P. (2004). Comportamiento reproductivo de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) según estación del año y tipo de alimentación.

- Villegas-Cornelio, V. M., & 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.

- Vodounnou, DS , Juste, V. , Kpogue, DNS , Apollinaire, MG y Didier, FE (2016). Cultivo de lombriz de tierra (*Eisenia fetida*), producción, valor nutritivo y utilización de su harina en la dieta de alevines de *Parachanna obscura* criados en cautiverio . Revista Internacional de Pesca y Estudios Acuáticos , 4 (5), 01 – 05

- Wu, Y., Zhang, N., Wang, J., & Sun, Z. (2012). An integrated crop-vermiculture system for treating organic waste on fields. *European journal of soil biology*, 51, 8-14.

- Wen, B., Hu, X. Y., Liu, Y., Wang, W. S., Feng, M. H., & Shan, X. Q. (2004). The role of earthworms (*Eisenia fetida*) in influencing bioavailability of heavy metals in soils. *Biology and Fertility of Soils*, 40, 181-187.

- Yadav, A., & Garg, V. K. (2011). Recycling of organic wastes by employing *Eisenia fetida*. *Bioresource technology*, 102(3), 2874-2880.