

PROTEÍNA DE LOMBRIZ: UN ENFOQUE INTEGRAL ENTRE SOSTENIBILIDAD, RENTABILIDAD  
Y SU APLICACIÓN EN LA NUTRICIÓN ANIMAL

*EARTHWORM PROTEIN: A HOLISTIC APPROACH BETWEEN SUSTAINABILITY, PROFITABILITY  
AND ITS APPLICATION IN ANIMAL NUTRITION*

Yinet Camila Saavedra Tobar<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede de Fusagasugá,  
Programa de Zootecnia. Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia.

Directora: Daniela Burgos-Toro – Docente TCO - Programa de Zootecnia - Facultad de Ciencias  
Agropecuarias. Universidad de Cundinamarca

## Tabla De Contenidos

1.	Resumen .....	4
2.	Abstract .....	5
3.	Introducción. ....	5
4.	Resultados y discusión .....	8
4.1	Lombriz de tierra y lombricultura .....	8
4.1.1	Características biológicas y anatómicas de la lombriz de tierra .....	8
4.1.2	Lombricultura .....	9
4.1.2.1	Lombricomposta. ....	10
4.1.2.2	Biomasa. ....	10
4.1.2.3	Lombrifiltros. ....	10
4.2	Valor nutricional y beneficios de la lombriz de tierra .....	11
4.2.1	Contenido de nutrientes .....	11
4.2.2	Componentes antinutricionales .....	14
4.2.3	Beneficios en inclusión de dietas en animales. ....	15
4.2.4	Beneficios en la nutrición humana. ....	17
4.3	Rentabilidad en la producción de carne de lombriz. ....	18
4.3.1	Sistemas de producción de lombricultura .....	19
4.3.2	Rentabilidad en infraestructura y manejo. ....	20
4.3.3	Legislación .....	22
4.4	Sostenibilidad.....	23
5.	Conclusiones .....	26

6.	Agradecimientos .....	27
6.1	DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES .....	27
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	28

## 1. Resumen

La lombriz de tierra es un invertebrado anélido, que por su ecología ingiere materia orgánica en descomposición y algunos componentes propios del suelo, alcanzando consumos hasta del 60 % de su propio peso; tienen un ciclo de crecimiento promedio de 3 meses, son hermafroditas con reproducción cruzada, siendo *Eisenia fetida* la especie más utilizada con fines productivos. Se ha investigado la capacidad que estos invertebrados tienen en la mejora de las condiciones físico químicas y biológicas del suelo, el aprovechamiento de residuos orgánicos para producción de abonos sólidos y líquidos, el potencial que la biomasa de lombriz tiene en la suplementación en dietas para producciones pecuarias y su posible incorporación en alimentación humana, como también su integración en procesos ambientales específicamente en sistemas de tratamiento de aguas y lodos a través de la biotecnología de vermifiltros. El desarrollo de prácticas de producción de biomasa de lombriz, muestra un potencial en cuanto a los volúmenes que se pueden producir en menor área respecto de otras producciones, con menor impacto ambiental y demostrando también gran potencial en términos del valor de su composición nutricional, siendo así que se han realizado investigaciones de inclusión en dietas de producciones pecuarias demostrando efectos positivos en parámetros productivos e inmunológicos, evidenciando su impacto en la sostenibilidad ambiental con respecto al aprovechamiento de residuos orgánicos que posteriormente son empleados en la producción de bioinsumos para cultivos agrícolas, permitiendo la reducción de la inversión en la adquisición de insumos agropecuarios de alto costo.

Palabras clave: lombricultura, lombriproteína, alimentos del futuro, sostenibilidad en la lombricultura, rentabilidad en lombricultura.

## **2. Abstract**

The earthworm is an annelid invertebrate, which due to its ecology ingests decomposing organic matter and some components of the soil, consuming up to 60% of their own weight; have an average growth cycle of 3 months, are hermaphrodites with cross reproduction, being *Eisenia fetida* the species most used for productive purposes. The capacity of these invertebrates to improve the physical, chemical and biological conditions of the soil has been investigated. the use of organic wastes for the production of solid and liquid fertilizers, the potential that earthworm biomass has in the supplementation of feed diets for livestock production and its possible incorporation in human food, as well as its integration in environmental processes, specifically in water and sludge treatment systems through vermifilter biotechnology, have been investigated. The development of worm biomass production practices shows a potential as for of the volumes that can be produced in a smaller area compared to other productions, with less environmental impact and also demonstrating great potential in terms of the value of its nutritional composition, so that research has been carried out on its inclusion in diets of livestock productions showing positive effects on productive and immunological parameters, This has shown its impact on environmental sustainability with regard to of the use of organic residues that are subsequently used in the production of bio-inputs for agricultural crops, allowing the reduction of investment in the acquisition of high-cost agricultural inputs.

Key words: vermiculture, vermicompost, the future foods, sustainability in vermiculture, profitability in vermiculture.

## **3. Introducción.**

La aceptación de la producción, transformación y consumo de invertebrados está en aumento debido a que estos sistemas responden a los planteamientos de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) (1), aportando a reducir las problemáticas de hambre y malnutrición (2); el riesgo ambiental y sanitario generado por la mala gestión de residuos orgánicos (3) y la mínima oferta de

alimentos con alto valor nutricional producidos en sistemas sostenibles que promueven la seguridad alimentaria (1).

Las lombrices de tierra clasificadas como oligoquetos son invertebrados de cuerpo blando, presentan fotosensibilidad, permaneciendo constantemente enterradas en el suelo. Las especies de mayor importancia productiva son las rojas californianas (*E. foetida* y *E. andrei*) a las cuales se les ha utilizado principalmente para producción de lombricompost debido a sus hábitos de consumo de material orgánico en descomposición y sus ciclo de vida relativamente rápidos, permitiendo una producción continua de lombrices para la transformación de sustratos con características fisicoquímicas y microbiológicas que superan a un compost tradicional (4,5), este fin ha sido investigado ampliamente en países como India, Irán, China, México y Brasil (6).

La investigación de la cría de lombriz para producción de carne es fragmentada y poco analizada (7), siendo más relevante la producción de insectos como alimentos del futuro (8), que a la fecha han alcanzado el establecimiento de normativas para la industrialización e implementación en piensos y nutrición humana (9); las especies de insectos con más investigación e implementación en dietas son mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) en etapa larvaria, larvas de gusano de la harina (*T. molitor*), grillo doméstico (*A. domesticus*) y langostas (*L. migratoria*) (10).

Las investigaciones direccionadas a la producción de lombriz se han enfocado sobre todo al estudio de los sustratos únicos o mixtos utilizados como lechos para su crecimiento, reproducción y obtención de biomasa, siendo el estiércol de bovino el más implementado debido a su relación de C/N. Junto a estas investigaciones, se han realizado análisis de composición proximal de la biomasa de oligoquetos, destacando su contenido de proteína 55- 75 % con base en materia seca, siendo similar a los valores proteicos de insectos comestibles como *T. molitor*, además de contar con un perfil de amino ácidos, ácidos grasos, minerales y vitaminas balanceados los cuales son aptos para la inclusión en dietas de monogástricos (11).

La producción de lombricomposta es una actividad que ha tenido un mayor desarrollo debido al crecimiento de la demanda de insumos orgánicos necesarios para las producciones agrosostenibles. Se han establecido sistemas de lombricomposta a gran escala, con una capacidad

de 500 toneladas de residuos al mes (13); dependiendo de la tecnificación y automatización esta producción aumenta el costo de inversión; respecto al costo de criaderos de insectos, se ha mencionado que los lombricultivos son más rentables al no requerir de energía para la calefacción e iluminación de las instalaciones, además de obtener dos productos altamente nutritivos, el lombricompost y la biomasa de lombriz (14).

Al igual que los factores de rentabilidad, la sostenibilidad ambiental de los lombricultivos ha sido poco estudiada, siendo mínimos los análisis del ciclo de vida y del flujo de materiales, sin embargo, se ha defendido que la lombricultura es una práctica que promueve la economía circular, al ser un mecanismo de gestión de residuos orgánicos que estabiliza y da valor agregado al producto obtenido, reincorporándolo al ciclo del suelo (15,16).

Con el fin de identificar la influencia que tiene la producción de lombriz de tierra en la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios, el presente trabajo propone revisar los siguientes componentes: primero se abordarán las características y requerimientos de las lombrices, junto con una rigurosa descripción sobre los procesos que se llevan a cabo en la lombricultura para obtener productos ricos en nutrientes; luego se mencionan las características nutricionales que ofrecen los transformados de lombriz para la inclusión a dietas de animales monogástricos, mencionando los efectos que esta tiene a nivel de parámetros productivos e inmunológicos y microbiológicos; posteriormente se enfocará en la rentabilidad de la producción de carne de lombriz, teniendo en cuenta la biología, infraestructura, mano de obra y transformación, además de mencionar la normativa que sustenta y apoya la lombricultura para producción de carne y por último, se hablará sobre la sostenibilidad ambiental en la lombricultura, abordando las emisiones de gases de efecto invernadero generados por esta, la optimización de los recursos, la gestión de los residuos orgánicos y la reducción de la dependencia de agroquímicos y piensos comerciales. La revisión bibliográfica se realizó en el motor de búsqueda Google Académico, principalmente artículos reportados en las bases de datos científicas ScienceDirect®, PubMed®, BRILL®, SpringerLink®, además se utilizó el software Mendeley para organizar y gestionar las referencias bibliográficas; la metodología se describe en la Figura 1.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Lombriz de tierra y lombricultura

Para profundizar en el papel de la lombricultura en la transformación de los sistemas agropecuarios, es importante contextualizar las características biológicas y ecológicas de las lombrices de tierra, además de abordar los alcances que tiene la lombricultura, los tipos de sistemas y manejos que se dan en esta producción.

#### 4.1.1 Características biológicas y anatómicas de la lombriz de tierra

Las lombrices de tierra pertenecen a la clase Oligochaeta del filo Annelida, donde hay más de 5300 especies de lombrices descritas (17). Las lombrices más utilizadas en lombricultura se clasifican como epigeas, que se caracterizan por permanecer en la superficie y consumir material orgánico, facilitando y disminuyendo la mano de obra para su recolección y manejo (11); las más utilizadas son *Eisenia andrei*, *Eisenia fetida*, *Dendrobaena veneta*, *Perionyx excavatus* y *Eudrilus eugeniae* (Fig. 2) (18), debido a que presentan ciclos de vida cortos (40 a 90 días), rápido desarrollo de cocones (12 a 26 días), alcanzan la madurez sexual entre 20 a 70 días presentando alta fecundidad (>150 cocones por año), con una tasa de eclosión >75% y una vida útil de 1 a 3 años (Fig. 3) (19,20) las lombrices presentan una curva de crecimiento sigmoidea que decrece al alcanzar la adultes, en el periodo juvenil alcanza una tasa de crecimiento de 6 - 19 mg/día con un consumo diario del 35 al 50% de su peso (11,19); para lograr dicho rendimiento es imprescindible el establecer unos criterios y procesamientos para la sanitización y estabilización del sustrato en los siguientes parámetros: el pH (6,0-8,5), temperatura (15 a 25°C), humedad (70 a 80 %), amoníaco (<0,5 mg/g) y sal (<0,2 %) (21,22), adicional a esto es importante determinar la bromatología de los sustratos, según una investigación realizada por Mashur et al (23) para promover la reproducción y con ello el número de cocones y lombrices producidas, *E. foetida* requiere sustratos con rangos de proteína cruda de 11,73–17,89 %, grasa 0,05–0,63 %, fibra cruda 16,20–36,99 %, N 1,88–2,20 %, P 0,33–0,52 %, K 1,26–1,32 %, C 32,37–44,20 %, C/N 15,06–17,22 y un contenido de materia orgánica de 55,67–76,0 2 %.

Las lombrices de tierra son invertebrados celomados, con cuerpos blandos cubiertos por una cutícula protectora, presentan una morfología de gusano segmentado; cada uno de estos segmentos se denomina metámero, de los cuales sobresalen unas cerdas o quetas compuestas al igual que la cutícula por proteínas y quitina, este último compuesto varía en su concentración dependiendo de la edad y las características físicas del suelo o sustrato (4,11); es decir que el contenido de quitina aumenta al encontrarse las lombrices en sustratos compactados, con baja humedad y porosidad, el cual les limita la movilidad y los hace más susceptibles a heridas, de esta manera aumenta el grosor de dicha capa protectora.

Las lombrices tienen respiración cutánea facilitada por la producción de una sustancia polimérica extracelular que proviene del celoma, que además les permite el desplazamiento y protección a través de los sustratos que deben tener un alto porcentaje de humedad (24). Las especies más utilizadas en lombricultura tienen una reproducción sexual cruzada; los óvulos de cada individuo son fecundados y envueltos por un capullo denominado cocón el cual es generado en el clitelo. En el clitelo, que se encuentra situado en determinados segmentos, presenta un visible engrosamiento, comparados con los demás metámeros. Así, la identificación de las lombrices adultas se logra al observar el clitelo (24).

En Colombia se tienen identificadas 148 especies de lombrices, aun así, los estudios de identificación en América son escasos (25), esto limita de igual forma la investigación del potencial zootécnico (Lombricultura) en especies nativas.

#### **4.1.2 Lombricultura**

Actualmente la lombricultura se puede entender como una práctica sustentada en el conocimiento zootécnico, donde, por medio de la cría de lombrices, se alcanzan los objetivos de tres necesidades: reducción del impacto ambiental (lombrifiltros o lombriestabilización), bioinsumo agrícola (lombricompost) y nutrición animal y humana (lombriproteína) (26). Su implementación es de fácil integración con los demás sistemas pecuarios y agrícolas (27) ya que estos anélidos se adaptan a una amplia diversidad de sustratos orgánicos como desechos industriales y domésticos mixtos (3),

desechos o subproductos de la ganadería (28), cultivos, agroindustria (29) y transformados de alimentos (30).

Las prácticas de lombricultura tienen los siguientes tres propósitos:

**4.1.2.1 Lombricomposta.** Es un proceso biotecnológico de bajo costo de ejecución en el que se utilizan lombrices de tierra en simbiosis con microorganismos, en condiciones aerobias y oxidativas para el procesamiento de residuos orgánicos, el cual al cabo de 2 a 4 meses se obtiene un producto apto para regenerar el suelo, aportando siete veces más nutrientes que el compost tradicional, además de tener sustancias húmicas, materia orgánica (41,9 - 44,5 %), presentar poblaciones de microorganismos benéficos como bacterias y arqueas que oxidan el amoníaco y moléculas con potencial antifúngico, antibacterial y hormonas de crecimiento vegetal (31,32). Cabe resaltar que este sustrato ha sido utilizado para fertilizar estanques piscícolas (33).

**4.1.2.2 Biomasa.** Cuando se tiene una producción cuya finalidad principal es la obtención de biomasa de alta calidad bioquímica, los sustratos deben cumplir con unas características físicas, químicas y nutritivas, las cuales potencialicen el desarrollo y la reproducción de las lombrices obteniendo a su vez lombrinaza o lombricomposta, además, dichos sustratos deben estar libres de pesticidas, metales pesados y otros componentes que pueden llegar a depositarse en los tejidos de las lombrices, asegurando así la inocuidad de los procesos y producto final (11)

**4.1.2.3 Lombrifiltros.** Es una biotecnología de filtración y sedimentación de bajo costo, eficiente en el tratamiento de aguas y lodos, el cual, debido a su mínimo consumo de energía y el tratamiento sin la adición de productos químicos, se vuelve una opción de alta viabilidad en países en desarrollo (34). Esta biotecnología aplica la función de filtración a través de un sustrato inorgánico que ayuda a la aireación y la estructura del filtro y se complementa de un sustrato orgánico en el que se disponen las lombrices, generalmente se utilizan las especies *E. eugeniae* y *E. fétida* que se alimentan de los sedimentos que ingresan al filtro, además de proveer la aireación y lixiviación para la acción de microorganismos que estabilizan el sustrato, posibilitando su uso como abono (35); este sistema se puede asociar con otros sistemas biológicos como el uso de macrófitos y zooplancton (36).

## **4.2 Valor nutricional y beneficios de la lombriz de tierra**

Si bien la lombricultura ha sido direccionada para la producción de abonos orgánicos, la investigación de los usos de la lombriz de tierra ha escalado hasta el punto de analizar las características bromatológicas de dicha biomasa, siendo de importancia el contenido de aminoácidos (AAs), ácidos grasos (AGs), minerales y componentes específicos que tienen alcance en la dieta humana y uso farmacológico. A continuación, se abordará el valor nutricional de varias especies de lombrices de tierra y haciendo un comparativo con insectos y materias primas convencionales; además se menciona la aplicación de subproductos de lombricultura en dietas de producción animal.

### **4.2.1 Contenido de nutrientes**

El perfil nutricional de la biomasa de lombriz depende de la especie, el sustrato de producción y el método del procesamiento de esta carne (8); en la Tabla 1 se aborda el contenido nutricional de especies de lombriz de tierra investigadas, teniendo un comparativo con materias primas de mayor importancia para la producción animal como la soya y la harina de pescado, e insectos actualmente permitidos para el uso en dietas animales, consiguiendo así claridad sobre las características que ofrece la biomasa de lombriz para su aplicación en dietas animales.

Según lo observado en la Tabla 1, el agua es la sustancia que se encuentra en mayor proporción en la mayoría de los organismos (37), como es el caso de los anélidos >80 % el cual es superior al contenido reportado en el pescado >66 % y los insectos comestibles >65 %; este componente es retirado con el uso de técnicas de conservación, disminuyendo el agua disponible para la proliferación de microorganismos y evitando reacciones indeseables, como la desnaturalización de las proteínas (37).

Como principal componente de la materia seca se ha determinado que la biomasa de lombriz presenta un contenido de proteína que varía entre 56,75 a 76,82 %, siendo comparable o mejor con lo encontrado en harinas de insectos comestibles (50 a 60 %) y en las principales materias primas para alimentación animal como son la harina de soya y la harina de pescado (39 a 67,8 %); el contenido de minerales varía conforme la alimentación administrada a las lombrices, en los estudios

de (38,39) el sustrato base fueron residuos orgánicos, obteniendo un contenido de minerales de 3,69 y 5,17 %MS para los anélidos *Eisenia andrei* y *Dendrovaena veneta* correspondientemente, siendo comparables con los porcentajes de *T. molitor*, *A. domesticus* y *L. migratoria* 3,6; 3,4 y 3,3 %MS. Al mismo tiempo el contenido de grasa de las especies de lombrices *Eisenia andrei* y *Dendrovaena veneta* fue de 19,30 y 12,21 %MS, siendo superior al contenido de grasa en la harina de pescado y la harina del insecto *L. migratoria* que son 10,3 y 11,4 %MS respectivamente, para la harina de insectos como el *A. domesticus* (grillo doméstico) y *T. molitor* (larva del gusano de la harina), la concentración de grasa es mayor a 20 %MS; sin embargo, en un estudio de revisión Sonntag et al (8) estimó que el valor promedio de grasa y ceniza contenida en las lombrices de tierra era de 8,6 %MS y 11,7 %MS para dichos componentes; con base en los promedios anteriores, la harina de lombriz ha sido considerada como una materia prima proteica (8) por lo tanto la biomasa de lombriz además de ofrecer en fresco o deshidratada, de manera industrializada se puede al igual que en insectos realizar un proceso de aislado de proteínas de alta calidad, con mayor estabilidad y conservación del producto (40), sin embargo, dependiendo del protocolo utilizado puede haber pérdidas de fracciones proteicas o por el contrario aumentar la digestibilidad (41).

Según los datos referenciados los aminoácidos (AAs) esenciales predominantes en las lombrices de tierra son arginina, para *E. eugeniae* (Ee) (8,66 g) y *D. veneta* (Dv) (6,7 %) en el caso de *E. foetida* (Ef) y *E. andrei* (Ea) predominó la leucina 7,2 y 8,1 g respectivamente; los (AAs) no esenciales con mayor presencia en la harina de lombriz fue el ácido glutámico con 12,1; 16,4 y 11,6 % para las especies Ee, Ef y Dv, mientras que, para Ea predominó el ácido aspártico en un 8,8 % del contenido proteico.

En la especie *Eudrilus eugeniae* se evidencio mayor porcentaje de histidina 3,30 % superior a lo reportado en harina de soya 2,7 % y harina de pescado 2,2 %, e inferior si se compara con el insecto *T. molitor* (Tm) que presenta 4,2 % de histidina; la isoleucina y arginina evidenciada en Ee fue 5,50 % y 8,66 % estando por encima de lo reportado en insectos y harinas utilizadas en piensos; la fenilalanina fue superior para el insecto *H. illucens* (Hi) 5,8 %, seguido de la harina de soya (hs) 5,09 % y Ee 4,52%; la metionina tiene mayor presencia en la harina de pescado (hp) 2,7 %, seguido

de Hi 2,4 % y Ee 2,24 %; el contenido de ácido aspártico contenido en las lombrices de tierra varía entre 8,9 a 10,10 % estando entre los rangos contenidos en los insectos y en las materias primas referenciadas.

El contenido de treonina en *E. fétida* fue de 5,2 % estando un punto por encima de lo evidenciado en la harina de pescado, diferente de lo que se reportó en Ee 0,95 %; la valina es un aminoácido esencial que en insectos se encuentra entre el 6,1 al 6,8 %, en la harina de soya y pescado se encuentran en un 4,7 y 4,9 % respectivamente, mientras que para las especies de lombrices oscila entre 4,2 a 4,7 %. La glicina reportada tanto para *E. fétida* y *L. migratoria* fue de 5,8 %, sin embargo, al igual que en la treonina *E. eugeniae* presenta una deficiencia de glicina 0,91 %. La alanina tiene mayor presencia en los insectos *L. migratoria* (Lm), *A. domesticus* (Ad) y *T. molitor* (Tm) siendo 10,5; 8,08 y 7,3 %; en Ef se encuentra en un 6 %, siendo la especie de anélido que más contine este aminoácido. En cuanto a la tirosina y la prolina los insectos presentan mayor concentración 5,8 a 8,5 % y 5,9 a 7,6 % respectivamente; tratándose de las lombrices, Ef contiene 4 % de prolina y Ea contiene 3,9 % de tirosina, siendo las que presentaron mayores niveles de los aminoácidos mencionados. Adicional a lo anterior también se ha evidenciado contenido de triptófano en Ef en un 0,12 % del nivel de proteína (43) o 4,43 g/kg de materia seca (16).

Con los datos mencionados anteriormente se evidencia el potencial que ofrece la producción de especies de anélidos, al igual que la cría de insectos, para la elaboración de piensos que pueden sustituir parcial o totalmente las materias primas convencionales como la harina de pescado y la harina de soya, alcanzando las concentraciones de aminoácidos requeridos para animales monogástricos; en otras palabras, la biomasa de lombriz de tierra posee características de alto valor nutricional al presentar un perfil balanceado de aminoácidos esenciales, además del aporte de ácidos grasos, minerales y vitaminas; adicionalmente una ventaja que ofrece la proteína de lombriz es el bajo contenido de quitina el cual se considera como un componente anti nutricional de importancia contenido en insectos (10).

#### 4.2.2 Componentes antinutricionales

Los análisis de proteína bruta en insectos se sobrestiman debido al contenido nitrógeno no proteico, siendo la quitina una cuarta parte de esta sobrestimación, debido a lo anterior se ha recomendado cambiar el factor de conversión predeterminado  $k_p = 6,25$  por factores ajustados; de esta manera Boulos et al (10) determinaron un factor promedio  $k_p = 5,33$  en las especies *T. molitor*, *A. domesticus* y *L. migratoria* obteniendo 51, 55 y 47 g/100g de proteína, promediando además en 4,6 % el contenido de quitina en exoesqueleto, este biopolímero se conforma en artrópodos como  $\alpha$ -quitina siendo una estructura más rígida y estable, diferente de la conformación que se presenta en anélidos ( $\beta$ -quitina) la cual es más flexible y menos densa (37); se ha evidenciado que un alto contenido de quitina en las dietas afecta las poblaciones de microorganismos benéficos como *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* y *Megasphaera* (44); además de inhibir la digestión de proteínas (45), aun así este componente antinutricional se presenta con menor cantidad en anélidos con respecto a insectos.

Los macroinvertebrados en general producen una sustancia denominada líquido celómico; para el caso de las lombrices de tierra, este fluido tiene participación en funciones fisiológicas y de respuesta sensorial ante condiciones amenazantes (46); el líquido celómico está compuesto por químicos, dentro de los cuales se han detectado 71 metabolitos (47); entre estos componentes sobresale la lisenina, una proteína con acción hemolítica, se ha comprobado que es toxica para animales vertebrados (48); además, este fluido presenta un aroma desagradable que puede afectar la palatabilidad de los derivados de biomasa de lombriz (49). Se ha determinado que la toxicidad del líquido celómico se pierde después de un proceso lavado de la sustancia del epitelio y posteriormente un tratamiento térmico (49).

Ejemplo de lo anteriormente mencionado fueron los resultados que obtuvieron Das et al (49) al realizar la sustitución de harina de pescado por harina de lombriz en un 40 % en la especie tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) lo cual repercutió negativamente en la estructura de los pliegues intestinales, aumento del conteo de glóbulos blancos y disminución de eritrocitos, además, se redujo la ingesta de alimento, causando desaceleración del crecimiento, esto posiblemente debido a que no

hubo un pretratamiento térmico para inhabilitar la acción tóxica del líquido celómico; un efecto diferente se obtuvo en el estudio realizado por Chakraborty et al. (50), quienes reportaron que la sustitución parcial de 75 % de harina de pescado por harina de lombriz previamente tratada con agua hirviendo, en dietas para alevines de bagre mantequilla (*O. pabda*) era más eficiente que el tratamiento control, mejorando parámetros de crecimiento, hematológicos, conversión alimentaria y composición final de la canal; lo anterior demuestra la necesidad de analizar los métodos del procesamiento de biomasa de lombriz, el contenido de quitina de las diferentes especies utilizadas en lombricultura y las características bromatológicas de los sustratos de alimento de los anélidos.

#### **4.2.3 Beneficios en inclusión de dietas en animales.**

La harina de soya es el principal cultivo de oleaginosas con importancia económica y nutricional en el mundo con una producción de 378 millones de toneladas, siendo para el 2022-2023 Brasil el mayor productor, seguido de EE.UU. y Argentina; Colombia es el tercer comprador de harina de soya de EE.UU. con un total de 796 millones de dólares, estimándose para el 2024 una importación de 88.000 toneladas (51), en su mayoría destinadas a la elaboración de piensos para la producción avícola. Una desventaja que tiene esta materia prima es el desequilibrio de aminoácidos (AAs), siendo necesaria la mezcla con harina de pescado (52,53), la cual contiene trazas de metales pesados y bifenilos policlorados cuando su obtención es de peces silvestres (16); debido a esto y a la insostenibilidad para la obtención de estas dos materias primas, surge la necesidad de identificar alternativas de obtención de insumos proteicos para la suplementación en animales.

Una posibilidad que se ha evaluado es la producción de lombriz para alimentación de animales de producción y zootecnia, teniendo como relevancia el manejo de sustratos, el efecto de los sustratos en el desarrollo de biomasa, los métodos de transformación de biomasa de lombriz, ciclo de vida de varias especies de lombrices, estudios bromatológicos de biomasa de lombriz y el efecto en parámetros productivos en monogástricos; este último se abordara principalmente en especies de producción piscícola y avícola.

En peces como la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) se ha observado mayor digestión y absorción de nutrientes, aumentando además la inmunidad intestinal cuando se realiza la sustitución del  $\leq 20$

% de harina de pescado por harina del oligoqueto *P. excavatus* (49); del mismo modo, se ha demostrado que una sustitución del 30 % de harina de pescado por harina de lombriz, junto con la inclusión de un 1,8 % de humus disminuye patógenos como *Aeromonas*, *Pseudoxanthomonas*, *Shewanella*, *Thermomonas* y *Vibrios*, además de tener un efecto positivo en el metabolismo de lípidos y un aumento en la altura de las vellosidades intestinales, por ende aumenta la digestibilidad y la capacidad de absorción en la carpa común (*Cyprinus carpio L.*) (54). Estudios realizados en las especies carpa común (*C. carpio*) y bagre mantequilla (*O. pabda*) se obtuvieron los mejores rendimientos de crecimiento y conversión alimenticia al sustituir la harina de pescado por harina de lombriz en un 70 y 75 % respectivamente (50,55)

Las lombrices de tierra son un alimento natural para las aves (56); por tal razón se han realizado estudios en diferentes especies y etapas productivas, es así como se evaluó la inclusión de harina de lombriz y vermiculítico a la dieta de pollos de engorde durante los primeros 14 días de producción, donde se observó una mejor conversión de alimento 1,270 en el tratamiento que se le suministró 1 % de harina de lombriz (hl) y 1,5 % de vermiculítico (vl), a diferencia del control que fue de 1,420; resaltaron el potencial para mejorar la respuesta inmune de los pollos de engorde y reducir las bacterias intestinales aeróbicas al incluir hl y vl en las dietas (57). Otro estudio realizado en pollos de engorde, reportaron que la sustitución del 30 % de harina de pescado por hl de *E. eugeniae* en las dietas de iniciación (semana 1-3) y finalización (semana 3-6) mejoró los parámetros productivos, obteniendo un peso final de 1,176 kg y un índice de conversión de alimento de 0,957 lo que dista de los resultados obtenidos del control 1,026 kg y 2,521, con el uso de harina de lombriz también mejoraron atributos sensoriales de la carne (58); en gallina ponedoras se identifica una mejora en la respuesta de enzimas antioxidantes, la eficiencia inmunitaria y el metabolismo de triglicéridos, colesterol y glucosa al suministrar en la dieta basal harina de lombriz enriquecida con selenio (59). La inclusión de hl de *E. foetida* (0,5 a 1,5 %) y vl (0,8 %) a dieta de codornices ponedoras, mejoró parámetros productivos de crecimiento, conversión alimentaria y producción de huevo, mejorando también la respuesta inmunológica contra la influenza (60). Dietas basales para patos *Muscovy* (*Cairina moschata*) fueron suplementadas con hidrolizado de lombriz de tierra en concentraciones de

1,5 y 2,5 %, obteniendo mayor rendimiento en ganancia de peso y conversión alimenticia, aumentando el área y longitud de las vellosidades del intestino, además de diversificar la flora intestinal.

Según el apartado anterior, se han realizado inclusiones de harina de lombriz en especies piscícolas y avícolas mejorando factores inmunológicos, longitud de las vellosidades intestinales y la microbiota intestinal, de esta manera es importante profundizar sobre estas acciones y concretar el alcance que estos componentes tienen en el producto final (ya sea extruido, harina, deshidratado) al pasar por diferentes procedimientos y métodos, para ser incluido en la cadena alimentaria que directa o indirectamente será aprovechado por el ser humano.

#### **4.2.4 Beneficios en la nutrición humana.**

Diferentes culturas han integrado a sus dietas lombrices de tierra, principalmente en América y Asia, además se han usado con fines medicinales y terapéuticos para la hipertensión, viruela, problemas dentales, dolor de cabeza, otitis, trastornos urinarios, cicatrización de heridas, úlceras, gripe, contracciones de parto, patologías respiratorias (4,61); en la actualidad existe una tendencia de consumidores preocupados por los impactos ecológicos debido a sus hábitos de consumo, queriendo adquirir productos con huellas ambientales mínimas, además de destacar la importancia del conocimiento del valor nutricional y beneficios de los alimentos ofertados para dietas humanas.

Teniendo en cuenta los cambios de consumo hacia dietas nutricionales, caracterizadas por su bajo impacto ambiental, se han realizado diversos estudios sobre los beneficios que tienen algunos componentes bioquímicos provenientes de especies de lombrices de tierra con propiedades fibrinolíticas, antitumorales, citotóxicas, antivirales, antioxidantes y antiinflamatorias (24). Ejemplo de estos componentes esta la lombriquinaza, una enzima con acción trombolítica que degrada el fibrinógeno reduciendo así la densidad de la sangre, a su vez activa la protrombina para producir trombina, un factor de coagulación, con esto logra mantener el equilibrio entre la fibrinólisis y la fibrogenesis (4) en otras palabras favorece la salud cardiovascular y favorece los procesos antiinflamatorios, este componente se ofrece comercialmente en una fórmula de 40 mg/capsula (62).

Se han realizado estudios en líquido celómico purificado de *Eisenia foetida*, encontrando una actividad hemolítica a una dosis mínima de 0,39 µg/ml, la actividad bactericida con acción *Escherichia coli* y en *Staphylococcus aureus* de dosis mínima de 180 µg/ml y 90 µg/ml respectivamente y una inhibición del crecimiento de células tumorales a una dosis efectiva de (IC 50 77 µg/ml) (61).

#### **4.3 Rentabilidad en la producción de carne de lombriz.**

La reducción del rendimiento productivo a mediano y largo plazo es una de las barreras que tiene la actividad ganadera y agrícola convencional, alcanzando al 21 % de decrecimiento a nivel mundial, esto debido al agotamiento de los recursos por el cambio climático que junto con el inadecuado uso dependiente de agroquímicos, genera el aumento de precios en concentrados y materias primas, impactando de manera negativa la rentabilidad y el costo de producción de proteínas de origen animal (16,63).

Como alternativa a lo anterior, la cría de lombriz logra reducir el costo de compra de fertilizantes, e incluso posicionar los subproductos de la lombricultura al mercado orgánico, esto se aplicó en la empresa “Biofertilizantes Especializados de la Laguna México S.A.”, quienes integraron la lombriz roja californiana en el procesamiento del estiércol de ganado bovino, produciendo diariamente más de una tonelada de lombrinaza, generando un extracto de humus avalado como producto “OMRI Listed®” es decir producto orgánico (64).

Por su parte, la biomasa de lombriz, ha sido incluida como sustituto parcial o total de la harina de soya y/o pescado en estudios experimentales, para dietas avícolas y piscícolas, teniendo repercusión en el factor de conversión de alimento, alcanzando a ser más eficiente que los piensos tradicionales al disminuir el consumo sin afectar el crecimiento en las unidades de producción, disminuyendo también el coste de alimentación (11,32,49), aun así la producción y comercialización de piensos con inclusión de harina de lombriz no se ha desarrollado, siendo una oportunidad de emprendimiento.

#### **4.3.1 Sistemas de producción de lombricultura**

Se clasifica como lombricultura al tener una densidad mayor a 100 unidades por (dm<sup>3</sup>) (65), se han establecido sistemas a escala de producción familiar, media e industrial (tabla 3), variando entre ellos la densidad, volumen de producción, la tecnificación y el área destinada para la producción. La viabilidad de los sistemas de lombricultivo familiar se sustentan en el hecho de no requerir inversión ya que se puede hacer con material disponible y espacio reducido, haciendo el lecho en superficie de tierra, o camas artesanales, sin tener control de variables y manejo definido; aun así con una mínima intervención de variables como humedad y exposición a la luz, puede beneficiar al ser una alternativa a la quema, gestionando los residuos orgánicos, además de obtener proteína para suplementar a las producciones pecuarias de las unidades familiares (65). La producción a escala media requiere de una proyección e inversión más alta, al querer diseñar unos Vermireactores duraderos, con características específicas, siendo necesaria la asistencia técnica y manejo de parámetros ambientales, generando mayor producción de lombricomposta y biomasa de lombriz alcanzando a ser soporte económico de la comunidad al tener diversificación de productos, se han referenciado producciones de lombricompost a gran escala, con capacidad de recepción de 500 toneladas de residuos al mes (12,13). La producción industrializada de lombricultura se realiza en un área mayor, generalmente en un espacio cerrado y cubierto, donde se requiere mayor mano de obra calificada y/o automatización con sistema de riego, medición de parámetros y estandarización del producto, a este punto la inversión es elevada y se requiere de un flujo de ingresos de residuos constante, manteniendo así la oferta de lombriabono (12).

Existen dos modelos según el manejo del sustrato, **el tradicional o alimentación discontinua** caracterizándose por la adecuación de una cantidad de sustrato en la que se pondrán las lombrices hasta finalizar el proceso, este manejo es utilizado en producciones de pequeña y mediana escala; por otro lado, está **el modelo de flujo o alimentación continua** en la que se tiene un sustrato acondicionado donde se incorporan las lombrices y periódicamente se va adicionando capas de sustrato precompostado y estabilizado, de esta manera la lombrices terminan de procesar las capas inferiores y van ascendiendo a las capas recientes, con este manejo, el sustrato inferior se

va retirando; frente al manejo del sustrato, una práctica recomendada es el precomposteo, promoviendo la estabilización del sustrato, tratando de mantener una relación de C/N de 20-30:1 y un pH óptimo (66), también se recomienda no sobrealimentar este modelo debido a la ecología de las lombrices que prefieren permanecer en la superficie, haciendo que prefieran subir a las capas recientes de sustrato sin que alcancen a consumir las capas inferiores, generando una fermentación y desestabilización del sustrato haciendo que el producto final dure más tiempo en alcanzar los parámetros de calidad y homogeneidad, alcanzando a generar presencia de patógenos y vectores, causando, patologías y baja sobrevivencia en las camas (11).

#### **4.3.2 Rentabilidad en infraestructura y manejo.**

En comparación con la producción bovina, avícola y porcina, la producción de lombriz es más eficiente respecto a la conversión de alimento y tasa de reproducción, además de requerir menor área de ejecución, agua, electricidad y mano de obra (65,67) para sustentar lo mencionado anteriormente se realizó una proyección de producción de biomasa (Tabla 4), con una duración de 1 año con una población inicial de 150 lombrices cliteladas, al finalizar el mes 12 se obtuvieron 2.093`108.550 lombrices fértiles, 24.770`911.200 de cocones, 14.435`114.400 lombrices juveniles y 1.857`171.600 lombrices próximas a ser fértiles; si se tiene en cuenta los individuos fértiles para recolectar al mes 12 se obtendrían 3.139,6 toneladas de lombriz fresca, lo que sería alrededor de 301,4 toneladas de proteína de lombriz, junto con más de 24.112,6 toneladas de abono de lombriz (lombricomposta) aproximados según los datos de Tedesco et al. (1). Al compararse con las granjas de insectos, estas deben contar con sistemas de calefacción, iluminación, instalaciones de ventilación y filtrado de aire, equipos de esterilización y dispositivos de control de plagas (14), en cambio la producción tecnificada de lombriz de tierra, requiere de electricidad para la mecanización de suministro de sustrato, sistema de riego de los Vermireatores, colecta de lombrinaza y separación de biomasa usando un trómel, posteriormente también se requiere de energía para el procesamiento de la harina, ya sea por liofilización o secado en horno siendo de igual manera para los insectos; sin embargo, son procedimientos que se pueden realizar manualmente, debido a que los parámetros de los cuales depende el crecimiento de los gusanos se regulan en el sustrato, sin necesidad de

calefacción e iluminación, adicional a esto la rentabilidad de la lombriz se fundamenta en el uso de residuos orgánicos estabilizados e inocuos con un precomposteo realizado en la misma producción disminuyendo el costo de inversión en piensos de casa comerciales, el cual en la producción de animales convencionales representan del 60 a 70 % de los costos totales (56) . De la lombricultura se obtiene biomasa de lombriz apta para inclusión en dietas animales y abono orgánico que disminuye la necesidad de compra de fertilizantes químicos, promoviendo la transición a sistemas de producción agroecológicas y sustentables.

Lo anterior se sustenta en investigaciones del crecimiento y desarrollo de lombrices en diferentes sustratos, cabe aclarar que el rendimiento de producción se reporta por peso o número de unidades de lombriz. Estudios realizados por Esmaeili et al. (68) en los que observaron el crecimiento poblacional de *E. foetida* en sustratos conformados por residuos de pistachos y estiércol bovino, pasando de 104 a 258 g de biomasa en 45 días, siendo 3,4 g/día la tasa de crecimiento reportada; con una muestra experimental mayor Tedesco et al. (1) utilizaron 34 kg de *E foetida*, determinando una tasa de crecimiento de 511 g/día de lombriz. Un estudio experimental desarrollado por Khwanchai et al. (69) determinaron que la producción con 100 g de *E. eugeniae* y 2 kg de sustrato compuesto por fibra de coco, estiércol de elefante y harina de soya, finalizo con 210 g de biomasa a los 60 días, es decir una tasa de crecimiento de 1,8 g/día. En el caso de los resultados obtenidos por Purnawanto et al (70) la lombriz *L. rubellus* demuestra una tasa de crecimiento de 4,6 unidades/día con 210 unidades iniciales, siendo superior a *E. foetida* y *E. eugeniae*, que tuvieron una tasa de crecimiento de 3,4 y 3,98 unidades/día con una población inicial de 350 y 168 respectivamente, siendo el sustrato a base de residuos de cultivo de zetas; por otro lado, la tasa de crecimiento obtenida por Sadia et al (71) de *P. excavatus* vario dependiendo al sustrato, siendo 4,7 mg/gusano/día la tasa de crecimiento más alta con el lecho conformado por estiércol bovino y restos vegetales; en el mismo estudio también se notó que los sustratos con bagazo de caña de azúcar y tronco de banano promueven parámetros como número de capullos producidos por lombriz y porcentaje de eclosión, resultados similares se obtuvieron al observar el desarrollo de lombrices en diferentes estiércoles, siendo la caprinaza la que obtuvo mayor conteo de capullos (72).

### 4.3.3 Legislación

Actualmente existe normativa nacional y mundial para los procesos de lombricultura en la obtención de abonos ecológicos, sin embargo, al abordar la producción de lombriz para obtención de carne o harina para dietas animales se tiene como exponente la legislación que rige la Unión Europea, la cual define normas de seguridad para las materias primas usadas en los piensos (9). En Colombia la resolución 61252 de 2020, el artículo 26 expresa que se acoge al uso de aditivos actualizados que aparecen en la legislación de Food and Drug Administration, FDA de Estados Unidos con AAFCO – Association of American Feed Control Officials y por la Comisión Europea (74). Los reglamentos mencionados han incursionado en permisos para usos de harinas de insectos como insumo para alimentación animal como es el caso del uso de larva de mosca soldado negro (73).

Una norma de importancia para la producción de lombriz de tierra direccionada al consumo humano es mencionada por Tedesco et al (1) la cual da apertura legal a nuevos alimentos, que han sido tradicionales en la dieta de comunidades, siendo considerados como una fuente valiosa de nutrientes que promueven la seguridad alimentaria, pudiendo ser categorizados como “nuevo alimento”, abriendo una oportunidad de producción y comercialización hacia el continente europeo, posiblemente facilitando su aprobación al ser categoría especial por el historial de consumo que este invertebrado ha tenido sin representar un riesgo a la salud humana.

En el 2017 la compañía Bocom Pharmaceutical USA Corp fue aprobada por la FDA para poder lanzar al mercado un suplemento dietético el cual es una mezcla de proteína de soja y lombriz de tierra *E. foetida* destinada para consumo humano, justificándose en las propiedades nutricionales, el uso tradicional medicinal y alimentario, además del sustento científico y la aprobación del Ministerio de Salud de China (4,75).

Con lo anterior, se puede resaltar que si bien no hay una normativa específica sobre la producción y comercialización de transformados de lombrices de tierra, existen los mecanismos para legalizar dichos productos al tener un historial de consumo en algunas comunidades pudiéndose categorizar como “nuevo alimento”, aun así estos procesos son dispendiosos y se requiere de la optimización de protocolos en cada uno de sus escalones de producción, garantizando tanto la

inocuidad y sus características nutraceúticas; de esta manera la los transformados de estos invertebrados pueden oportunidad de negocio novedosa en Colombia.

#### **4.4 Sostenibilidad**

La cadena de producción agropecuaria convencional es una de las principales causas del cambio climático. Según Mirzabaev et al (76) estos sistemas alimentarios generan entre 21 a 37 % de las emisiones totales de GEI ocasionando así un grave desequilibrio ambiental. Al mismo tiempo estos sistemas se ven afectados, ejemplo de esto es el deterioro de la biodiversidad marina debido a la acidificación y aumento de temperaturas de los océanos y la sobrepesca, esto conlleva a la desaceleración entre un 15 a 35 % de la pesca (77), debido a que el 11 % de la producción de esta industria se destina principalmente para la elaboración de harina y aceite de pescado utilizado en un 89 % en dietas acuícolas y el restante a dietas de cerdos, aves y mascotas, impacta económicamente al sector pecuario. Por otro lado, el 77 % de las tierras agrícolas son para cultivos destinados a la alimentación animal (78); siendo la producción de soya el cultivo más importante para este fin, conllevando junto con sobreexplotación ganadera a la deforestación anual de 7,8 millones de hectáreas en el periodo comprendido 2010-2018, siendo América del sur la región con mayor deforestación, con 68 millones de hectáreas de las cuales  $\frac{3}{4}$  partes se utilizan para pastoreo, causando la pérdida de agrobiodiversidad y fertilidad del suelo e incluso la contaminación de fuentes hídricas (51,79,80); adicional a esto, el consumo capitalista y la sobre producción de alimentos ha puesto la alimentación no como una necesidad sino un lujo, esto se refleja por una parte en el desperdicio del suministro alimentario, los cuales alcanzan a representar más del 50 % de los residuos sólidos mundiales y a su vez existe una población vulnerable de más de 821 millones de personas sin acceso a una adecuada nutrición (3,63).

Como consecuencia del actual panorama ambiental los ODS promueven las formas de producción limpias y cadenas agroalimentarias consientes del impacto que cada eslabón genera, procurando el mínimo desperdicio y aprovechando los residuos orgánicos residuales transformándolos y reintegrándolos a las cadenas de producción de alimentos (1), como alternativa

se presenta la cría de invertebrados, específicamente lombrices de tierra, las cuales en términos de sostenibilidad presenta aspectos que promueven una producción con menos impacto ambiental, siendo una alternativa al uso de harina de soya y harina de pescado para la inclusión en dietas animales y también promisoría para la nutrición humana. De esta manera en los próximos párrafos se desarrolla el panorama del impacto que tiene la lombricultura a nivel ambiental, abordando el uso del recurso hídrico, la emisión de gases de efecto invernadero y la incidencia del uso de la lombrinaza en el suelo.

La importancia del consumo del agua para la producción agrícola y ganadera, yace de que más del 60 % de la demanda hídrica es direccionada a estos sectores (80), de tal manera que Kostecka et al (65) mencionan que para producir un 1 kg de carne de ganado vacuno, porcino y avícola se requieren de (24000-49000 L), (5800-12000 L) y (2000-4400 L) de agua respectivamente, siendo en gran medida agua requerida para los cultivos de pastos y forrajes; en lombricultivos desarrollados para investigación de análisis de flujo de materiales se obtuvo que para producir 1 kg de biomasa de lombriz se requiere 5,4 L de agua, al tiempo se obtienen 22,2 kg de lombrinaza y el 89 % del peso del sustrato inicial, se pierde en vapor de agua, entendiéndose que la dieta de las lombrices son residuos de cosecha o ganadería (82).

Teniendo en cuenta que al producir biomasa de lombriz, se actúa directamente sobre los sustratos utilizados para la nutrición de los anélidos, es importante resaltar que la lombricultura beneficia la mineralización, nitrificación y estabiliza dichos sustratos siendo más óptimo que el proceso de compostado convencional; además el compostaje con lombrices al mantener la humedad de 70 % y la temperatura entre 20 a 25 °C minimiza las emisiones de GEI en un 78.19 % con respecto al compostaje termófilo (83), por esta razón el lombricompost presenta mayor contenido de N, al no tener tantas pérdidas en producción de amoníaco y óxidos de nitrógeno (84); esto se evidenció en una investigación realizada por Jjagwe et al. (82) en el que realizaron un análisis de flujo de materiales, mostrando que las emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O fueron de 102g kg, 7,6g kg y 40mg kg de residuos en base seca, sin detectar emisiones de NH<sub>3</sub>; un estudio realizado por Tedesco et al (9) sobre el análisis de ciclo de vida en la producción de lombriz para pienso se evidencio que el

impacto ambiental de 2,24 kg CO<sub>2</sub> eq siendo elevado debido al transporte y el proceso de liofilizado, aun así sigue siendo menor al reportado en la producción de 1 kg de soya que equivale a un impacto ambiental de 3,5 kg CO<sub>2</sub> eq.

En las prácticas de producción agrícolas en sistemas convencionales es excesivo el uso de agroquímicos entre ellos pesticidas los cuales, han generado un desequilibrio en la micro y macrofauna (63), limitando que las plantas desarrollen mecanismos de protección debido a la falta de biodiversidad, volviéndolas dependientes de químicos para mantener la producción (85); estos manejos además de tener un impacto ambiental, también repercuten en la salud pública a causa del uso de insecticidas, pesticidas y fertilizantes, siendo la actividad agrícola la segunda causa antropogénica de contaminación por metales pesados, que alcanzan a depositarse en fuentes hídricas cercanas a cultivos y sistemas pecuarios; se han encontrado concentraciones que superan los límites permisibles < 0,050 mg/kg en carne de pescado, res, cerdo y pollo, alcanzando a perjudicar al ser humano por ingestión de alimentos además de otras formas de afectación como consumo de agua contaminada, inhalación y exposición a zonas contaminadas (85,86).

Para la producción de carne de lombriz, se debe tener en cuenta que los sustratos utilizados, al ser el alimento a disposición para las lombrices deben ser seleccionados con el fin de no presentar trazas de metales pesados, ya que se puede generar biodeposición, de esta manera se recomienda el uso de residuos provenientes de producciones limpias; la ventaja que tiene la lombricultura es el uso de material orgánico residual, de cosechas agrícolas y de la producción animal (bovinaza, equinaza, conejaza, gallinaza, caprinaza) que se usa como sustrato reincorporándose al ciclo de producción, minimizando los focos de vectores, la contaminación del suelo y de fuentes hídricas por lixiviación, además de disminuir la producción de gases de efecto invernadero (GEI) que puedan provocar estos residuos al ser mal gestionados (87). La biomasa de lombriz se puede suministrar en fresco o harina a monogástricos y la lombrinaza es un fertilizante que promueve el desarrollo de las plantas, siendo un plaguicida natural y específico de microorganismos indeseados (88).

## 5. Conclusiones

Producto del análisis de los resultados obtenidos a partir de la revisión, se puede inferir que la biomasa obtenida a partir de procesos de producción de lombriz y específicamente el valor proteico en todos los casos fue similar al de las materias primas de mayor importancia zootécnica (harina de soya y harina de pescado) e insectos y en algunos casos demostró mayor valor composicional.

No se encontraron estudios de rentabilidad dirigidos a sistemas de producción de biomasa de lombriz, por tanto, no se puede aseverar que en los procesos de lombricultura a nivel industrial la inversión en infraestructura, costos operativos y volumen de producción por área, sean más rentables respecto de otras producciones pecuarias. Sin embargo, cabe destacar que los sistemas productivos de lombriz de las escalas referenciadas en la revisión mencionan un menor requerimiento en área de producción, servicios públicos y costos en alimentación, destacando dos márgenes económicos adicionales como obtención de lombricompost y su uso en filtración y tratamiento de aguas. Colombia por ser un país ubicado sobre el trópico del ecuador garantiza una ventaja comparativa sobre otras regiones, por las condiciones ambientales que resultan aptas para obtener un mayor rendimiento de producción constante, esto favorece a que no se deba destinar tanto recurso al control de temperatura y humedad (infraestructura y equipos especializados), facilitando que la inversión se enfoque al control de condiciones microbiológicas y químicas del sustrato.

Finalmente, los sistemas productivos de lombricultura demuestran ser la actividad agropecuaria que menor impacto ambiental genera, en cuanto a consumo de agua, producción de gases de efecto invernadero y uso de suelo, además en sus procesos integra el aprovechamiento de residuos y/o subproductos orgánicos de otras actividades económicas en los que son infravalorados, reincorporándose a la cadena alimentaria al ser la materia prima para la dieta de los anélidos, siendo transformados en lombricomposta y biomasa de lombriz, ambos productos altamente nutritivos que promueven la transición de sistemas convencionales a sistemas agro sostenibles.

## **6. Agradecimientos**

Expreso mi profunda gratitud a quien me acompaño como asesora en la realización del presente documento Angie Daniela Burgos Toro por su orientación, paciencia, apoyo y el tiempo dedicado a cada revisión; también me siento agradecida con la Universidad de Cundinamarca que me permitió crecer a nivel personal y profesional de la mano de docentes a quienes les guardo admiración y respeto.

Este trabajo fue posible al generoso y constante apoyo de mis padres, a quienes les dedico este y todos mis logros. Agradezco también el apoyo dedicado en sugerencias, consejos y motivación por parte de mis hermanos Andrés, Laura y Viviana. A mi pareja, amigos y compañeros que estuvieron conmigo en los momentos de frustración, incertidumbre, dicha y gozo durante este largo y retador camino, les agradezco por su apoyo, confianza, soporte y cariño. Cada uno de ustedes ha contribuido a mi fortaleza y ánimo, gracias por ser mi punto de apoyo.

### **6.1 DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores no declaran algún conflicto de intereses.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Tedesco DEA, Castrica M, Tava A, Panseri S, Balzaretto CM. From a Food Safety Perspective: The Role of Earthworms as Food and Feed in Assuring Food Security and in Valuing Food Waste. *Insects*. 2020 May 11;11(5):293.
2. Tang C, Yang D, Liao H, Sun H, Liu C, Wei L, et al. Edible insects as a food source: a review. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2019 Dec 21;1(1):8.
3. Alshehrei F, Ameen F. Vermicomposting: A management tool to mitigate solid waste. *Saudi J Biol Sci*. 2021 Jun;28(6):3284–93.
4. Siyun Ding, Xiting Lin, Sanger He. Earthworms: A Source of Protein. *J Food Sci Eng*. 2019 May 28;9(5).
5. Enebe MC, Erasmus M. Vermicomposting technology -A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. *J Environ Manage*. 2023 Nov;345:118585.
6. Ghorbani M, Sabour MR. Global trends and characteristics of vermicompost research over the past 24 years. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021 Jan 13;28(1):94–102.
7. Antonova E, Titov I, Pashkova I, Stom D. Vermiculture as a source of animal protein. *E3S Web of Conferences*. 2021 May 5;254:08006.
8. Sonntag E, Vidal A, Grimm D, Rahmann G, van Groenigen JW, van Zanten H, et al. Positioning earthworms in the future foods debate: a systematic review of earthworm nutritional composition in comparison to edible insects. *J Insects Food Feed*. 2023 Nov 27;10(5):733–56.
9. Tedesco DEA, Conti C, Lovarelli D, Biazzini E, Bacenetti J. Bioconversion of fruit and vegetable waste into earthworms as a new protein source: The environmental impact of earthworm meal production. *Science of The Total Environment*. 2019 Sep;683:690–8.
10. Boulos S, Tännler A, Nyström L. Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Edible Insects on the Swiss Market: *T. molitor*, *A. domesticus*, and *L. migratoria*. *Front Nutr*. 2020 Jul 10;7.
11. Musyoka SN, Liti DM, Ogello E, Waidbacher H. Utilization of the earthworm, *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) as an alternative protein source in fish feeds processing: A review. *Aquac Res*. 2019 Sep 8;50(9):2301–15.

12. Enno Sonntag, Daniel Grimm, Gerold Rahmann. Vermiculture for Human Nutrition across Scales – Potentials and Limitations . ISOFAR scientific workshops at the 2nd Organic Expo in Goesan, South Korea [Internet]. 2022 [cited 2024 Sep 5]; Available from: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://literatur.thuenen.de/digbib\_extern/dn065425.pdf
13. Ghosh C. Integrated vermi-pisciculture—an alternative option for recycling of solid municipal waste in rural India. *Bioresour Technol.* 2004 May;93(1):71–5.
14. Żuk-Gołaszewska K, Gałęcki R, Obremski K, Smetana S, Figiel S, Gołaszewski J. Edible Insect Farming in the Context of the EU Regulations and Marketing—An Overview. *Insects.* 2022 May 7;13(5):446.
15. Gasco L, Renna M, Bellezza Oddon S, Rezaei Far A, Naser El Deen S, Veldkamp T. Insect meals in a circular economy and applications in monogastric diets. *Animal Frontiers.* 2023 Aug 14;13(4):81–90.
16. Parolini M, Ganzaroli A, Bacenetti J. Earthworm as an alternative protein source in poultry and fish farming: Current applications and future perspectives. *Science of The Total Environment.* 2020 Sep;734:139460.
17. Bottinelli N, Hedde M, Jouquet P, Capowiez Y. An explicit definition of earthworm ecological categories – Marcel Bouché’s triangle revisited. *Geoderma.* 2020 Aug;372:114361.
18. Pierre-Louis RC, Kader MdA, Desai NM, John EH. Potentiality of Vermicomposting in the South Pacific Island Countries: A Review. *Agriculture.* 2021 Sep 13;11(9):876.
19. Chaudhuri P, Debnath S. Growth and Reproductive Biology of Earthworms in Organic Waste Breakdown Under the Indian Condition. In: *Earthworm Assisted Remediation of Effluents and Wastes* [Internet]. Singapore: Springer Singapore; 2020. p. 179–93. Available from: [http://link.springer.com/10.1007/978-981-15-4522-1\\_11](http://link.springer.com/10.1007/978-981-15-4522-1_11)
20. Sifolo S, Coulibaly, Pius M, Ndegwa, Michael Ayiania, I.A. Bi Zoro. Growth, reproduction, and life cycle of *Eudrilus eugeniae* in cocoa and cashew residues. 2019;

21. Rincones PA, Zapata JE, Figueroa OA, Parra C. Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*). Información tecnológica. 2023 Apr;34(2):11–20.
22. Wu Z, Yin B, Song X, Qiu J, Cao L, Zhao Q. Effects of Salinity on Earthworms and the Product During Vermicomposting of Kitchen Wastes. Int J Environ Res Public Health. 2019 Nov 27;16(23):4737.
23. Mashur M, Bilad MR, Hunaepi H, Huda N, Roslan J. Formulation of Organic Wastes as Growth Media for Cultivation of Earthworm Nutrient-Rich *Eisenia foetida*. Sustainability. 2021 Sep 15;13(18):10322.
24. Edwards CA, Arancon NQ. Biology and Ecology of Earthworms [Internet]. New York, NY: Springer US; 2022. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/978-0-387-74943-3>
25. Feijoo-Martínez A, Peña-Venegas CP, Zuluaga LF. Especies nuevas de lombrices de tierra (Oligochaeta: Rhinodrilidae) de la Amazonía colombiana. Rev Mex Biodivers. 2020 Aug 21;91(1):913085.
26. Álvarez MR, Zamora JIS, Valenzuela AI, Medina BC. III Taller Internacional de Agricultura Orgánica. 2019.
27. Cruz Miguel, Calisaya Gisela, Martillo Juan, Bedoya Edgar. Fuente de alimento y densidad de inoculación en la cría de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en Cuzco, Perú. Annals of the Romanian Society of Cell Biology. 2021;25(4):16300–6.
28. Melendi Cruz D, Chile Bocourt A, Fernández Hernández V. Sistema de vermicultura para la biotransformación de los desechos sólidos (excretas) de la explotación intensiva del porcino de cría soroa. Investigación Y Ciencia Aplicada a La Ingeniería. 2022;5:40–52.
29. Alcívar M. Comportamiento de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) en diferentes sustratos orgánicos. Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación. 2023;8:74–84.

30. Dutta R, Angmo D, Singh J, Bala Chowdhary A, Quadar J, Singh S, et al. Synergistic effect of biochar amendment in milk processing industry sludge and cattle dung during the vermiremediation. *Bioresour Technol.* 2023 Mar;371:128612.
31. Huang K, Xia H, Cui G, Li F. Effects of earthworms on nitrification and ammonia oxidizers in vermicomposting systems for recycling of fruit and vegetable wastes. *Science of The Total Environment.* 2017 Feb;578:337–45.
32. Pérez-Corría K, Botello-León A, Mauro-Félix AK, Rivera-Pineda F, Viana MT, Cuello-Pérez M, et al. Chemical Composition of Earthworm (*Eisenia foetida*) Co-Dried with Vegetable Meals as an Animal Feed. *Ciencia y Agricultura.* 2019 May 1;16(2):79–92.
33. Nzilani Musyoka S, Nairuti R. Application of Vermicompost Fertilizer in Aquaculture Nutrition: Review. In: *Animal Nutrition - Annual Volume 2022 [Working Title]*. IntechOpen; 2021.
34. Nsiah-Gyambibi R, Acheampong E, Von-Kiti E, Larbi Ayisi C. Performance evaluation of developed macrophyte-assisted vermifiltration system designed with varied macrophytes and earthworm species for domestic wastewater treatment. *PLoS One.* 2023 Mar 1;18(3):e0281953.
35. Samal K, Dash RR, Bhunia P. A comparative study of macrophytes influence on performance of hybrid vermifilter for dairy wastewater treatment. *J Environ Chem Eng.* 2018 Aug;6(4):4714–26.
36. Pous N, Barcelona A, Sbardella L, Gili O, Hidalgo M, Colomer J, et al. Vermifilter and zooplankton-based reactor integration as a nature-based system for wastewater treatment and reuse. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering.* 2021 Dec;4:100153.
37. Mathew S, Raman M, Kalarikkathara Parameswaran M, Rajan DP. Assessment of Nutritional Quality of Fish. In: *Fish and Fishery Products Analysis*. Singapore: Springer Singapore; 2019. p. 1–62.
38. Kavle RR, Nolan PJ, Carne A, Agyei D, Morton JD, Bekhit AEDA. Earth Worming—An Evaluation of Earthworm (*Eisenia andrei*) as an Alternative Food Source. *Foods.* 2023 May 10;12(10):1948.

39. Garczyńska M, Kostecka J, Pączka G, Mazur-Pączka A, Cebulak T, Butt KR. Chemical Composition of Earthworm (*Dendrobaena veneta* Rosa) Biomass Is Suitable as an Alternative Protein Source. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Feb 10;20(4):3108.
40. Ma Z, Mondor M, Goycoolea Valencia F, Hernández-Álvarez AJ. Current state of insect proteins: extraction technologies, bioactive peptides and allergenicity of edible insect proteins. *Food Funct*. 2023;14(18):8129–56.
41. Sharma B, Yadav DK, Malakar S, Singh S, Sharma M, Suri S, et al. Insect proteins – Production technologies, bio-functional, and food applications: A perspective. *Food Biosci*. 2024 Oct;61:104560.
42. Monte Singer W, Zhang B, Rouf Mian MA, Huang H. Soybean Amino Acids in Health, Genetics, and Evaluation. In: *Soybean for Human Consumption and Animal Feed*. IntechOpen; 2020.
43. Vodounnou DS, Kpogue Diane NS, Mensah Guy Apollinaire, Fiogbe Emile Didier. Culture of earthworm (*Eisenia fetida*), production, nutritive value and utilization of its meal in diet for *Parachanna obscura* fingerlings reared in captivity . *Int J Fish Aquat Stud* [Internet]. 2016 [cited 2024 Sep 2];4:01–5. Available from: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fisheriesjournal.com/archives/2016/vol4issue5/PartA/4-3-57-273.pdf
44. Yu M, Li Z, Chen W, Rong T, Wang G, Ma X. *Hermetia illucens* larvae as a potential dietary protein source altered the microbiota and modulated mucosal immune status in the colon of finishing pigs. *J Anim Sci Biotechnol*. 2019 Dec 19;10(1):50.
45. Kaur L, Mao B, Beniwal AS, Abhilasha, Kaur R, Chian FM, et al. Alternative proteins vs animal proteins: The influence of structure and processing on their gastro-small intestinal digestion. *Trends Food Sci Technol*. 2022 Apr;122:275–86.
46. Sukumwang N, Umezawa K. Earthworm-Derived Pore-Forming Toxin Lysenin and Screening of Its Inhibitors. *Toxins (Basel)*. 2013 Aug 8;5(8):1392–401.

47. Griffith CM, Morgan MA, Dinges MM, Mathon C, Larive CK. Metabolic Profiling of Chloroacetanilide Herbicides in Earthworm Coelomic Fluid Using <sup>1</sup> H NMR and GC–MS. *J Proteome Res.* 2018 Aug 3;17(8):2611–22.
48. Kobayashi H, Ohtomi M, Sekizawa Y, Ohta N. Toxicity of coelomic fluid of the earthworm *Eisenia foetida* to vertebrates but not invertebrates: probable role of sphingomyelin. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology.* 2001 Mar;128(3):401–11.
49. Das B, Islam SMM, Nag SK, Al-Azim, Vatsos IN, Siddik MAB. Earthworm, *Perionyx excavatus* as an alternate protein source for Nile tilapia: Effects on growth performance, blood biochemistry, erythrocyte morphology and intestinal health. *Aquaculture International.* 2024 May 17;
50. Chakraborty P, Islam MdR, Hossain MdA, Fatema UK, Shaha DC, Sarker MdSA, et al. Earthworm meal (*Perionyx excavatus*) as an alternative protein source to fish meal in feed for juvenile butter catfish (*Ompok pabda*). *Aquaculture International.* 2021 Oct 6;29(5):2119–29.
51. USDA. FAS-ESR-053-24. 2024. Export Sales to China, Colombia, and Unknown Destinations.
52. Khan SH. Recent advances in role of insects as alternative protein source in poultry nutrition. *J Appl Anim Res.* 2018 Jan 1;46(1):1144–57.
53. Sánchez-Muros MJ, Barroso FG, Manzano-Agugliaro F. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *J Clean Prod.* 2014 Feb;65:16–27.
54. Mi J, Lu R, Yan X, Song D, Yang L, Qin C, et al. Evaluating the mixture of earthworm meal and wormcast as a protein source for common carp (*Cyprinus carpio* L.) based on growth performance, antioxidant, immune capacity, lipid metabolism and intestinal health. *Aquac Rep.* 2022 Jun;24:101118.
55. Ngoc TN, Pucher J, Becker K, Focken U. Earthworm powder as an alternative protein source in diets for common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquac Res.* 2016 Sep;47(9):2917–27.
56. Gunya B, Masika PJ. *Eisenia fetida* worm as an alternative source of protein for poultry: a review. *Int J Trop Insect Sci.* 2021 Apr 26;42(1):1–8.

57. Chashmidari Y, Esmailzadeh L, Karimi-Torshizi MA, Seidavi A, da Silva Araujo CS, Araujo LF. Feed supplementation with vermi-humus and earthworm (*Eisenia foetida*) powder on broiler productivity. Ital J Anim Sci. 2021 Jan 1;20(1):1054–62.
58. Nalunga A, Komakech AJ, Jjagwe J, Magala H, Lederer J. Growth characteristics and meat quality of broiler chickens fed earthworm meal from *Eudrilus eugeniae* as a protein source. Livest Sci. 2021 Mar;245:104394.
59. Sun X, Yue S zhong, Qiao Y hui, Sun Z jun, Wang C, Li H fen. Dietary supplementation with selenium-enriched earthworm powder improves antioxidative ability and immunity of laying hens. Poult Sci. 2020 Nov;99(11):5344–9.
60. Nazeri R, Esmailzadeh L, Karimi-Torshizi MA, Seidavi A, Zangeronimo MG. Use of earthworm meal with vermi-humus in diet for laying quail. Pesqui Agropecu Bras. 2021;56.
61. Hua Z, Wang YH, Cao HW, Pu LJ, Cui YD. Purification of a protein from coelomic fluid of the earthworm *Eisenia foetida* and evaluation of its hemolytic, antibacterial, and antitumor activities. Pharm Biol. 2011 Mar 16;49(3):269–75.
62. amazon. Suplemento lumbroquinasa Lumbroquinasa actividad nattoquinasa Brand: Primax Labs.
63. Del Angel-Lozano G, Escalona-Aguilar MÁ, Baca del Moral J, Cuevas-Reyes V. Principios y prácticas agroecológicas para la transición hacia una ganadería bovina sostenible. Revisión. Rev Mex Cienc Pecu. 2023 Jul 10;14(3):696–724.
64. Humux. Extractos que dan vida [Internet]. [cited 2024 Sep 5]. Available from: <https://humux.com.mx/>
65. Kostecka J, Garczyńska M, Pączka G, Mazur-Pączka A. Chemical Composition of Earthworm (&i&gt;Eisenia fetida Sav&lt;/i&gt;.) Biomass and Selected Determinants for its Production. Journal of Ecological Engineering. 2022 Jul 1;23(7):169–79.
66. Maharjan KK, Noppradit P, Techato K. Suitability of vermicomposting for different varieties of organic waste: a systematic literature review (2012–2021). Organic Agriculture. 2022 Dec 2;12(4):581–602.

67. Bermúdez-Serrano IM, Quirós-Blanco AM, Acosta-Montoya Ó. Producción de insectos comestibles: retos, oportunidades y perspectivas para Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 2023 Aug 25;53052.
68. Esmaeili A, Khoram MR, Gholami M, Eslami H. Pistachio waste management using combined composting-vermicomposting technique: Physico-chemical changes and worm growth analysis. *J Clean Prod*. 2020 Jan;242:118523.
69. Khwanchai K, Kanokkorn S. Effect of Agricultural Waste on Vermicompost Production and Earthworm Biomass. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2018 Dec 15;11:23–7.
70. Purnawanto AM, Ahadiyat YR, Iqbal A, Tamad. The Utilization of Mushroom Waste Substrate in Producing Vermicompost: The Decomposer Capacity of *Lumbricus rubellus* , *Eisenia fetida* and *Eudrilus eugeniae*. *Acta Technologica Agriculturae*. 2020 Jun 1;23(2):99–104.
71. Sadia M, Hossain M, Islam M, Akter T, Shaha D. Growth and reproduction performances of earthworm (*Perionyx excavatus*) fed with different organic waste materials. *J Adv Vet Anim Res*. 2020;7(2):331.
72. Mashur M. PRODUKSI KOKON DAN BIOMASSA CACING TANAH EISENIA FOETIDA PADA BERBAGAI MEDIA BUDIDAYA LIMBAH PETERNAKAN. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*. 2020;8.
73. The Association of American Feed Control Officials AAFCO. Official Feed Terms, Common or Usual Ingredient Names and Ingredient Definitions. [Internet]. 2023 [cited 2024 Jun 17]. Available from: <https://www.aafco.org/resources/official-publication/op-chapter-6-public-access/>
74. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Por medio de la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el registro de los fabricantes e importadores de alimentos para animales, así como los requisitos y el procedimiento para el registro de alimentos para animales y se dictan otras disposiciones". (Resolución núm. 61252.) [Internet]. 2020 [cited 2024 Jun 17].

Available from: <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2020?page=9>

75. Food and Drug Administration. NDI 999 - Earthworm Protein from Bocom Pharmaceutical USA - Original NDI Notification. 2018.
76. Mirzabaev A, Olsson L, Kerr RB, Pradhan P, Ferre MGR, Lotze-Campen H. Climate Change and Food Systems. In: Science and Innovations for Food Systems Transformation. Cham: Springer International Publishing; 2023. p. 511–29.
77. FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. FAO; 2024.
78. Mondière A, Corson MS, Auberger J, Durant D, Foray S, Glinec JF, et al. Trade-offs between higher productivity and lower environmental impacts for biodiversity-friendly and conventional cattle-oriented systems. *Agric Syst.* 2024 Jan;213:103798.
79. Branthomm A, Merle C, Kindgard A, Lourenço A, Ng WT, D'Annunzio R, et al. How much do large-scale and small-scale farming contribute to global deforestation? FAO; 2023.
80. van Huis A, Oonincx DGAB. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agron Sustain Dev.* 2017 Oct 15;37(5):43.
81. Instituto de Hidrología M y EA. ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2022 [Internet]. 2023 [cited 2024 Jun 17]. Available from: [https://www.andi.com.co/Uploads/ENA%202022\\_compressed.pdf](https://www.andi.com.co/Uploads/ENA%202022_compressed.pdf)
82. Jjagwe, Komakech, Karungi, Amann, Wanyama, Lederer. Assessment of a Cattle Manure Vermicomposting System Using Material Flow Analysis: A Case Study from Uganda. *Sustainability.* 2019 Sep 20;11(19):5173.
83. Lim SL, Lee LH, Wu TY. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *J Clean Prod.* 2016 Jan;111:262–78.
84. Nigussie A, Kuyper TW, Bruun S, de Neergaard A. Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting. *J Clean Prod.* 2016 Dec;139:429–39.

85. Bourke PM, Evers JB, Bijma P, van Apeldoorn DF, Smulders MJM, Kuyper TW, et al. Breeding Beyond Monoculture: Putting the “Intercrop” Into Crops. *Front Plant Sci.* 2021 Nov 18;12.
86. Briffa J, Sinagra E, Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon.* 2020 Sep;6(9):e04691.
87. Mashur M. PRODUKSI KOKON DAN BIOMASSA CACING TANAH EISENIA FOETIDA PADA BERBAGAI MEDIA BUDIDAYA LIMBAH PETERNAKAN. *Biocientífico: Jurnal Ilmiah Biologi.* 2020;8:48–57.
88. Byambas P, Hornick JL, Marlier D, Francis F. Vermiculture in animal farming: A review on the biological and nonbiological risks related to earthworms in animal feed. *Cogent Environ Sci.* 2019 Jan 1;5(1):1591328.
89. Alghamdi S, Migdadi H, Khan M, El-Harty EH, Ammar M, Farooq M, et al. Phytochemical Profiling of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Genotypes Using GC-MS Analysis. In: *Phytochemicals - Source of Antioxidants and Role in Disease Prevention.* InTech; 2018.
90. Xu J hao, Xiao S, Wang J hui, Wang B, Cai Y xue, Hu W feng. Comparative study of the effects of ultrasound-assisted alkaline extraction on black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae protein: Nutritional, structural, and functional properties. *Ultrason Sonochem.* 2023 Dec;101:106662.
91. Finke MD. Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth. *Zoo Biol.* 2015 Nov 14;34(6):554–64.
92. Siddiqui SA, Zhao T, Fitriani A, Rahmadhia SN, Alirezalu K, Fernando I. *Acheta domesticus* (house cricket) as human foods - An approval of the European Commission - A systematic review. *Food Front.* 2024 Mar 18;5(2):435–73.
93. INRAE-CIRAD-AFZ Feed tables. Animal products / Main constituents [Internet]. [cited 2024 Aug 27]. Available from: <https://www.feedtables.com/content/table-dry-matter>
94. Gabriel A. Dedeke, Stephen O. Owa, Kayode B. Olurin. Amino acid profile of four earthworms species from Nigeria. *AGRICULTURE AND BIOLOGY JOURNAL OF NORTH AMERICA* [Internet]. 2010 [cited 2024 Aug 31];1:97–102. Available from: <https://www.cabidigitalibrary.org/doi/full/10.5555/20103143041>

95. Ibáñez MA, de Blas C, Cámara L, Mateos GG. Chemical composition, protein quality and nutritive value of commercial soybean meals produced from beans from different countries: A meta-analytical study. *Anim Feed Sci Technol.* 2020 Sep;267:114531.
96. Dominguez J, Gomez-Brand M. Vermicomposting: Composting with Earthworms to Recycle Organic Wastes. In: *Management of Organic Waste.* InTech; 2012.

## Tablas

**TABLA 1.**

*Contenido nutricional de especies de lombrices de tierra, especies de insectos, materias primas de importancia en la producción animal.*

ESP.	P.	H.C.	Z.	GRASA	HUM.
	%MS				%MT
<i>E. andrei</i>	53.75	23.26	3.69	19.30	83.68
<i>D. veneta</i>	76.82	5.8	5.17	12.21	87.2
<i>E. fetida</i> (D).	62.3	19.5	4.1	<0.1	84
<i>H. illucens</i> (D).	58,7	21,2	14,89	2,82	>65
<i>T. molitor</i>	59.8	7,1	3,6	26,3	68,8
<i>A. domesticus</i>	60	6,4	4,43	28,7	72
<i>L. migratoria</i>	51,9	18,6	3,33	11,4	
<i>G. max</i>	39.02	29,48	5.44	21.16	4.9
<b>H. pescado</b>	67,8	0	19,3	10,3	66-81

*Nota.* Esta tabla muestra un comparativo del valor nutricional de proteína (P), carbohidratos (HC), minerales (Z), lípidos en porcentajes con base en materia seca (%MS) y humedad con base en materia total (%MT) entre las especies de lombriz de tierra (*Eisenia andrei*, *Dendrovaena veneta*, *Eisenia fetida*) insectos (*Tenebrio molitor*, *Achaeta domesticus*, *L migratoria* y *Hermetia illucens*) y la semilla oleaginosa de soja (*Glycine max*). La (D) hace referencia a que la muestra utilizada para el análisis fue desgrasada. Datos reportados por los siguientes autores (1,38,39,89–93)

**TABLA 2.**

*Contenido de aminoácidos (AAs) en cuatro especies de lombrices de tierra, cuatro especies*

*de insectos y dos materias primas de importancia en la producción animal.*

	<b>Ee</b>	<b>Ef</b>	<b>Ea</b>	<b>Dv</b>	<b>Tm</b>	<b>Ad</b>	<b>Lm</b>	<b>Hi</b>	<b>Hs</b>	<b>Hp</b>
	g/100	g/100	mg * g	%aa/	g/100	g/100	g/100	mg*g	%aa	g/16gN
	g	g	P	ms	gH	gH	gH	P	/Pc	
<b>(His)</b>	3,30	2,6	27,9	1,62	4,2	3,1	3,1	28,95	2,73	2,2
<b>(Ile)</b>	5,50	4,3	45,6	3,5	5,1	4,7	4,9	49,03	4,54	4,2
<b>(Phe)</b>	4,52	3,8	44,0	2,91	4,2	3,9	3,7	58,56	5,09	Phe+tyr 7,0
<b>(Thr)</b>	0,95	5,2	38,9	2,34	3,9	4,0	3,8	35,85	3,85	4,1
<b>(Lys)</b>	5,70	6,8	71,2	4,74	6,2	6,0	5,8	68,22	6,16	7,5
<b>(Leu)</b>	6,51	7,2	81,1	3,66	8,1	8,0	8,5	78,38	7,66	7,2
<b>(Val)</b>	4,22	4,7	45,1	3,68	6,8	6,1	6,8	67,33	4,78	4,9
<b>(Arg)</b>	8,66	6,0	58,5	5,16	6,3	8,1	7,3	61,17	7,28	6,2
<b>(Met)</b>	2,24		19,6	0,8	1,1	1,9	1,6	24,6	1,36	2,7
<b>(Asp)</b>	10,10	8,9	88,5	8,22	Asn+	Asn+	Asn+	106,8	11,9	9,1
					Asp	Asp	Asp	8		
					8,1	9,3	7,8			
<b>(Cys)</b>	0,71		12,6	0,84	0,9	1,0	0,8	<0,02	1,44	0,8
<b>(Gly)</b>	0,91	5,8	34,8	3,5	5,0	4,9	5,8	45,32	4,4	6,4
<b>(Ala)</b>	3,30	6,0	47,6	3,48	7,3	8,0	10,5	56,33	4,5	6,3
<b>(Ser)</b>	3,60	4,7	39,5	3,83	5,3	5,8	4,4	41,81	5,2	3,9
<b>(Tyr)</b>	3,30	3,3	39,3	2,16	7,8	5,9	5,8	85,20	3,9	
<b>(Glu)</b>	12,10	16,4	67,1	8,94	Glu+	Gln+	Gln+	102,5		
					Gln	Glu	Glu	6		
					11,3	11,8	10,9			

<b>(Pro)</b>	2,25	4,0	37,2	2,55	7,3	6,6	7,6	59,83	4,9	4,2
--------------	------	-----	------	------	-----	-----	-----	-------	-----	-----

*Nota.* La presente tabla indica el contenido de los Aminoácidos (Histidina (His), Isoleucina (Ile), Fenilalanina (Phe), Treonina (Thr), Lisina (Lys), Leucina (Leu), Valina (Val), Metionina (Met), Ácido aspártico (Asp), Cisteína (Cys), Glicina (Gly), Arginina (Arg), Alanina (Ala), Serina (Ser), Tirosina (Tyr), Ácido glutámico (Glu), Prolina (Pro)) presentes en las especies de lombriz de tierra (*Eudrilus eugeniae* (Ee), *Eisenia foetida* (Ef), *Eisenia andrei* (Ea), *Dendrobaena veneta* (Dv)), insectos (*Tenebrio molitor* (Tm), *Achaeta domesticus* (Ad), *L migratoria* (Lm), *Hermetia illucens* (Hi)) y las materias primas de importancia en la producción animal (harina de soya (hs) y harina de pescado (hp)). Datos reportados por los siguientes autores (10,38,39,90,94,95)

**TABLA 3.**

*Sistemas de lombricultura*

<b>SISTEMA</b>	<b>INVERSIÓN INICIAL</b>	<b>INFRAESTRUCTURA</b>	<b>TECNIFICACIÓN</b>	<b>ÁREA REQUERIDA</b>
<b>Familiar</b>	baja	Con materiales a disposición, más artesanal: madera, guadua, tinas, en piso.	No aplica, se tienen en cuenta parámetros mínimos: iluminación, humedad.	<10m <sup>2</sup>
<b>Escala media</b>	media	Elaborada con materiales más resistentes (cemento)	Constante revisión de parámetros físicos y químicos.	entre 50m <sup>2</sup> a 1ha
<b>Industrial</b>	elevada	Generalmente encerrada, camas hechas con materiales duraderos y resistentes que permitan la automatización de procesos	Revisión de parámetros físicos, químicos y microbiológicos desde el precomposteo hasta la finalización del producto.	>1ha

*Nota.* La presente tabla hace un comparativo entre los sistemas de producción de lombricomposta. Datos reportados por los siguientes autores (12,65)

**TABLA 4.**

Proyección de producción de biomasa de lombriz de tierra durante 1 año.

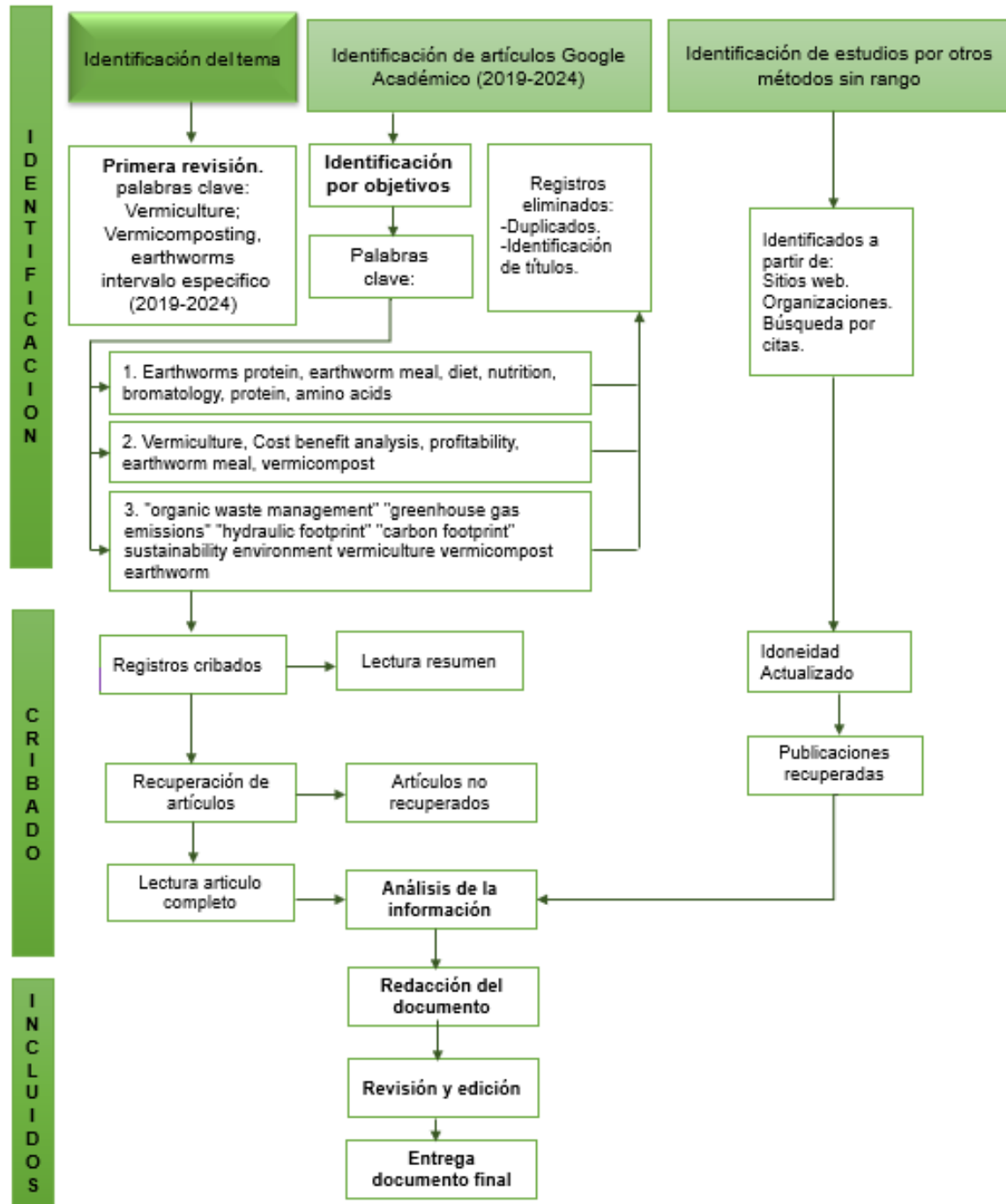
Mes	Quincena	Lombrices fértiles	Cocones	Eclosión	Lombrices juveniles	Lombrices maduras
1	1	150	1.200	0	0	
	2	150	1.200	0	0	
2	1	150	1.200	1.200	3.600	0
	2	150	1.200	1.200	3.600	0
3	1	150	1.200	1.200	3.600	3.600
	2	3.750	30.000	1.200	3.600	3.600
4	1	7.350	58.800	1.200	3.600	3.600
	2	10.950	87.600	30.000	90.000	3.600
5	1	14.550	116.400	58.800	176.400	3.600
	2	18.150	145.200	87.600	262.800	90.000
6	1	108.150	865.200	116.400	349.200	176.400
	2	284.550	2.276.400	145.200	435.600	262.800
7	1	547.350	4.378.800	865.200	2.595.600	349.200
	2	896.550	7.172.400	2.276.400	6.829.200	435.600
8	1	1.332.150	10.657.200	4.378.800	13.136.400	2.595.600
	2	3.927.750	31.422.000	7.172.400	21.517.200	6.829.200
9	1	10.756.950	86.055.600	10.657.200	31.971.600	13.136.400
	2	23.893.350	191.146.800	31.422.000	94.266.000	21.517.200
10	1	45.410.550	363.284.400	86.055.600	258.166.800	31.971.600
	2	77.382.150	619.057.200	191.146.800	573.440.400	94.266.000
11	1	171.648.150	1.373.185.200	363.284.400	1.089.853.200	258.166.800
	2	429.814.950	3.438.519.600	619.057.200	1.857.171.600	573.440.400
12	1	1.003.255.350	8.026.042.800	1.373.185.200	4.119.555.600	1.089.853.200
	2	2.093.108.550	16.744.868.400	3.438.519.600	10.315.558.800	1.857.171.600

*Nota.* La presente tabla se desarrolló según parámetros del ciclo de vida de especies de lombrices de tierra utilizadas en lombricultura estableciendo rangos de periodo de incubación (30 días), crecimiento de lombriz juvenil a lombriz clitelada apta para producción de cocones (45 días), con una liberación de cocones quincenal de 8 por lombriz y una viabilidad de 3 crías por lombriz. datos de 24,56.

## Figuras

Figura 1.

Diagrama de metodología aplicada.



Nota. Metodología de revisión PRISMA

**Figura 2.**

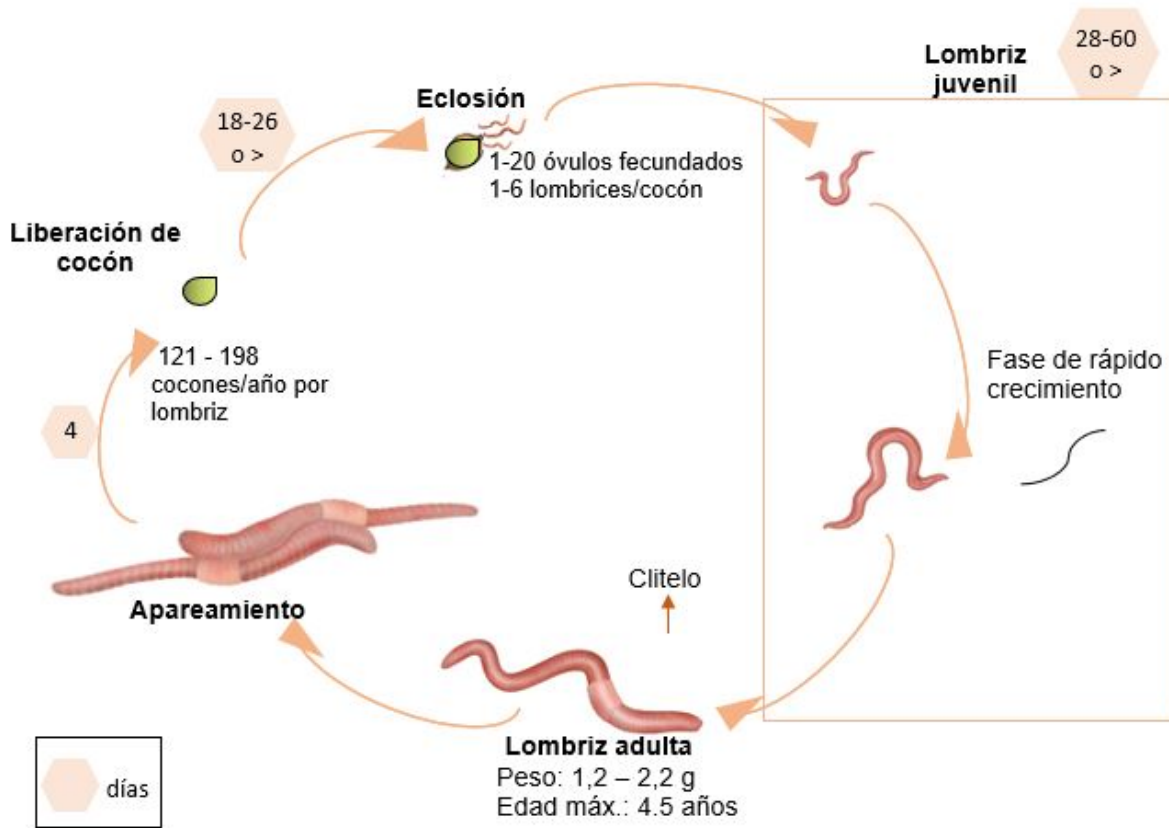
*Especies de lombrices de tierra con mayor uso en lombricultura*



*Nota.* Especies de lombrices de tierra: A) *Eisenia andrei*; B) *Eisenia fétida*; C) *Eudrilus eugeniae*; D) *Perionyx excavatus*. Tomado de "Vermicomposting: Composting with Earthworms to Recycle Organic Wastes". (p. 35) por Domínguez, J. & Gómez-Brandón, M. 2012. *InTech*. (DOI: 10.5772/33874). (CC BY 3.0)(96)

**Figura 3.**

Diagrama del ciclo de vida de la lombriz de tierra *E. fétida*.



*Nota.* Diagrama del ciclo de vida de *E. fétida* (apareamiento, liberación de cocón, eclosión, desarrollo de lombriz juvenil, lombriz adulta). Esta figura fue creada a partir de ilustraciones de libre acceso de shutterstock.com y datos de 24,56.

Fuente: Aldona Griskeviciene. (2021). \*Lombriz adulta\* [2051547794]. Shutterstock. <https://www.shutterstock.com/image-illustration/common-earthworm-illustration-against-white-background-2051547794>

Fuente: Aldona Griskeviciene. (2021) \*Apareamiento\* [2054336813]. Shutterstock. <https://www.shutterstock.com/image-illustration/sexual-reproduction-involves-two-earthworms-2054336813>

Fuente: Kalimanorah. (2019). \*Lombriz juvenil\* [1346644439]. Shutterstock. <https://www.shutterstock.com/image-vector/drawing-earthworm-vector-illustration-1346644439>

## ACUERDO 027 DEL 16 DEL 16 DE DICIEMBRE DE 2021

### ARTÍCULO 46.- OPCIONES DE TRABAJO DE GRADO

#### MODALIDAD ARTÍCULO PUBLICABLE (REVISIÓN)

#### FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

#### Programa de Zootecnia (Acreditado Alta Calidad Res. MEN 009412 de 2022)

Evidencia anti-plagio - *Turnitin*

ARTÍCULO 61.- DEBERES
13. No cometer fraude académico o plagio en las pruebas de evaluación, exámenes o trabajos escritos presentados en desarrollo del proceso de aprendizaje y formación, así como el respeto a la propiedad intelectual.

ARTÍCULO 62.- FALTAS
1. El fraude:  c. Utilizar citas o referencias falsas o registrar indebidamente referencias que no coincidan con las citas.  d. Presentar como de su propia autoría la totalidad o parte de una obra, trabajo, documento o invención realizados por otra persona; incorporar un trabajo ajeno en el propio de tal forma que induzca a error al observador o lector en cuanto a la autoría del mismo.

Inserte una evidencia<sup>1</sup> del índice de similitud (%) arrojado por la herramienta *Turnitin*

↓

---

<sup>1</sup> Procedimiento: tome pantallazo del reporte de originalidad → Guarde el pantallazo como imagen (jpg/jpeg/png) en el PC → seleccione el recuadro o posicione el cursor dentro del recuadro (cuando el texto ya haya sido borrado) → Vaya a la barra de herramientas de Word - pestaña "Insertar" → función "Imágenes" → "Insertar imágenes desde este dispositivo" → seleccione el pantallazo (imagen jpg/jpeg/png) desde la ubicación de guardado en el PC → pique "Insertar".

(LEA Y BORRE ESTE TEXTO ANTES DE INICIAR EL PROCEDIMIENTO DE INSERCIÓN DE LA IMAGEN)

Tome pantallazo del reporte de originalidad

↓

Guarde el pantallazo como imagen (jpg/jpeg/png) en el PC

↓

Seleccione este recuadro o posicione el cursor dentro de este recuadro (cuando el texto ya haya sido borrado)

↓

Vaya a la barra de herramientas de *Word* - pestaña "Insertar"

↓

Función "Imágenes"

↓

"Insertar imágenes desde este dispositivo"

↓

Seleccione el pantallazo (imagen jpg/jpeg/png) desde la ubicación de guardado en el PC

↓

Pique "Insertar"

**0% - 25%**

**Permitido**

El documento se puede entregar y radicar como propuesta (anteproyecto).

**>25%**

**No permitido**

El documento no se puede entregar ni radicar como propuesta (anteproyecto). Se hace obligatoria la revisión exhaustiva de este por parte del estudiante y el director para hacer los ajustes pertinentes.