

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



LOMBRICOMPOST DE DESECHOS PECUARIOS

POR

EVA SARAHÍ MENDIOLA HERNÁNDEZ

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LOMBRICOMPOST DE DESECHOS PECUARIOS

MONOGRAFÍA

Presentada por

EVA SARAHÍ MENDIOLA HERNÁNDEZ

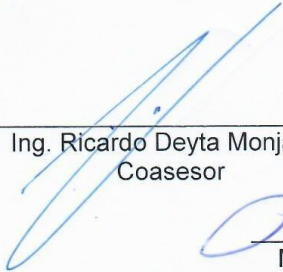
Como requisito parcial para obtener el título profesional de

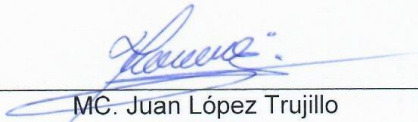
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA


Aprobada por el comité de asesoría:

  
Dr. José Antonio Hernández Herrera  
Asesor Principal

  
M.C. Myrna Julieta Ayala Ortega  
Coasesor

  
Ing. Ricardo Deyta Monjaras  
Coasesor

  
M.C. Juan López Trujillo  
Coasesor

  
MC. Pedro Carrillo López  
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
LOMBRICOMPOST DE DESECHOS PECUARIOS

MONOGRAFÍA


Presentada por

EVA SARAHÍ MENDIOLA HERNÁNDEZ


y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para  
obtener el título profesional de


INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

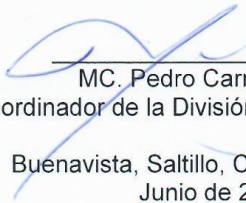
A P R O B A D A

  
Dr. José Antonio Hernández Herrera  
Presidente

  
M.C. Myrna Julieta Ayala Ortega  
Vocal

  
Ing. Ricardo Deyta Monjaras  
Vocal

  
MC. Juan López Trujillo  
Vocal suplente

  
MC. Pedro Carrillo López  
Coordinador de la División de Ciencia Animal  
COORDINACIÓN DE CIENCIA ANIMAL  
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Junio de 2024



### Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



---

EVA SARAHÍ MENDIOLA HERNÁNDEZ

## DEDICATORIAS

Este documento lo dedico de todo corazón para mi Dios por haberme dado la vida, permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional quien nunca me abandono en ningún momento de mi vida por darme su sabiduría, fe y esperanza quien me fortalece y me llena de bendiciones; a mis padres **Miguel Mendiola Castro** y **Eva Hernández Castro** por su gran dedicación, amor, paciencia, confianza, sus consejos y enseñanzas son mi fortaleza en todo momento los amo mucho, a mis hermanos Miguel, Santiago, Mario por su apoyo incondicional quienes me dieron la oportunidad de concluir con esta etapa de mi vida, a mis hermanas Laura, Luz, Karina, Yulisa y Madai quienes siempre me han brindado su amor, su cariño; a mi hijo Santiago el amor de mi vida quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme a mis sobrinos que siempre me han demostrado su inmenso amor ,mi familia lo más valioso que tengo en mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios quiero darle las infinitas gracias por guiarme, protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres Miguel Mendiola Castro y Eva Hernández me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada ellos siempre estuvieron presentes en mi mente en cada paso que di me enseñaron perseverar a través de sus sabios consejos.

A mis hermanos Miguel, Santiago, Mario quienes me motivaron a inscribirme a la universidad me apoyaron económicamente e incondicionalmente siempre tuvieron fe en mi incluso en los momentos más difíciles, siempre estaban al pendiente de mi dando fuerzas para seguir adelante con sus consejos, su cariño y amor con la finalidad de mi superación este logro es gracias a ellos.

A mis hermanas Laura, Luz, Karina, Yulisa, Madai por estar hay siempre en mi vida en los momentos buenos y difíciles, quienes me brindaron de su amor, su tiempo para escucharme y apoyarme cuando más lo necesitaba.

A mi hijo Santiago el mayor tesoro de mi vida quien me inspira a seguir adelante por todo tu amor cada momento de felicidad cada una de tus sonrisas y tus muestras de cariño todos mis esfuerzos han valido la pena porque te tengo a mi lado por darle sentido a mi vida.

A mis sobrinos por todo el amor y la alegría que me han traído a mi vida son mi fuente de felicidad y mi mayor inspiración.

A mi asesor Dr. José Antonio Hernández Herrera quien siempre ha estado dando ánimos y motivándome para concluir con esta etapa de mi vida, es una persona muy profesional del cual admiro mucho su inteligencia siempre dispuesto ayudar y aconsejarme en cada momento por su paciencia, dedicación y comprensión en este proyecto.

A la M.C. Myrna Julieta Ayala Ortega, Ing. Ricardo Deyta Monjaras, Dr. Juan López Trujillo y MC. Pedro Carrillo López agradezco de corazón la valiosa participación y su tiempo también estoy orgullosa porque son unos excelentes profesores con los que tuve la oportunidad de llevar clases, con paciencia y compromiso me han enseñado no solo conocimiento si no también valores y principios gracias por creer en mí.

A mi gloriosa “Universidad Autónoma Antonio Narro”, por abrirme las puertas de su institución y permitirme formarme profesionalmente a igual diferentes docentes que me brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir día a día.

A mis compañeros por su apoyo, su amistad, por ser parte de mi vida y que juntos pudimos haber logrado nuestro gran objetivo con mucha perseverancia.

## CONTENIDO

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Objetivo general .....</b>	<b>9</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Definición y características del producto .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Lombrices de Tierra .....</b>	<b>10</b>
2.2.1 Especies del género <i>Eisenia</i> .....	13
2.2.2 Descripción, taxonomía y ciclo reproductivo .....	14
2.2.3 Biología.....	16
<b>2.3 Parámetros a considerar en la producción del lombricompost.....</b>	<b>19</b>
2.3.1 Factores Ambientales .....	19
2.3.2 Temperatura .....	19
2.3.3 Contenido de Humedad .....	20
2.3.4 pH.....	20
2.3.5 Aireación.....	20
2.3.6 Amoníaco y sales.....	21
2.3.7 Otros factores .....	22
2.3.8 Enemigos y parásitos.....	22
<b>2.4 Proceso de producción del lombricompost.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 7. Diagrama de flujo de la producción de lombricompost.....</b>	<b>25</b>
2.4.1 Sustratos de estiércol de especies animales .....	25
2.4.2 Productos obtenidos de la lombricompost .....	29
2.4.3 Beneficios del lombricompost en el suelo .....	33
2.4.4 Bioinsecticida.....	37
2.4.5 Toxicología en el lombricompost .....	41
2.4.6 Compost para reducción de emisiones de efecto invernadero .....	47
<b>III. CONCLUSIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>IV. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>57</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Taxonomía de lombriz roja californiana .....	14
Cuadro 2. Características de la lombriz de tierra.....	16
Cuadro 3. Necesidades de condiciones de confort de Eisenia.....	22
Cuadro 4. Sustratos orgánicos utilizados en el lombricompost .....	28
Cuadro 5. Plantas donde se ha realizado estudios de compost de lombriz .....	35
Cuadro 6. Estudios de enfermedades de plantas por enmiendas orgánicas .....	39
Cuadro 7. Efectos de los químicos metales, insecticidas en Eisenia .....	41
Cuadro 8. Parámetros de toxicidad de 24 insecticidas en Eisenia .....	45
Cuadro 9. Fuentes de emisiones de GEI de las actividades ganaderas .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lombriz de tierra en su hábitat natural .....	11
Figura 2. Aspecto de la lombriz de tierra .....	13
Figura 3. Túnel formado por la lombriz gigante de Gippsland .....	17
Figura 4. Anatomía de lombriz de tierra .....	18
Figura 5. Ganado que provee estiércol .....	27
Figura 6. Diversos tipos de materiales usados en la lombricompost.....	28
Figura 7. Efectos directos e indirectos del lombricompostaje.....	30
Figura 8. Ejemplares de lombriz roja .....	31
Figura 9. Fertilizante líquido proveniente de lombricompost de lombriz .....	32
Figura 10. Compost sólida y seca producto del proceso de lombricompostaje. ....	32
Figura 11. Esquema de los posibles mecanismos de supresión de patógenos .....	38
Figura 12. Emisiones de carbono a nivel mundial (CO <sub>2</sub> eq) .....	49
Figura 13. Emisiones de GEI de las cadenas de suministro ganadero .....	54
Figura 14. Emisiones de CO <sub>2</sub> con fertilización inorgánica y con orgánica .....	55

## RESUMEN

El lombricompostaje es un proceso que utiliza lombrices, especialmente la especie *Eisenia fetida*, para convertir materiales orgánicos en un fertilizante de alta calidad. Este proceso es respetuoso con el medio ambiente y se utiliza para el tratamiento de residuos orgánicos. El compost obtenido a través de este proceso es considerado de alta calidad y constituye una alternativa viable para el procesamiento de desechos orgánicos convirtiéndolos en un sustrato rico en nutrientes que puede utilizarse en la agricultura. Aunque hay muchas investigaciones sobre el compost de lombriz, todavía hay áreas que requieren mayor exploración para ampliar nuestro conocimiento sobre sus propiedades y efectos en la agricultura y el medio ambiente. El objetivo fue realizar una revisión de literatura que describa de manera exhaustiva los aspectos generales del compost elaborado mediante lombrices de tierra, con especial atención en los beneficios asociados a su producción. La revisión destaca la importancia del compost producido por lombrices como alternativa sostenible a los fertilizantes químicos en la agricultura y su potencial económico y social al ser producido localmente a partir de residuos orgánicos. Se mencionan áreas de investigación que pueden ser exploradas para mejorar la comprensión de los procesos biológicos involucrados en su producción y optimizar su uso, como la influencia de diferentes factores en su calidad, su efectividad en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y en la eliminación de contaminantes.

**Palabras clave:** Suelo, Vermicompost, Bioinsecticida, Nutrición de cultivos, Estiércol.

## I. INTRODUCCIÓN

La lombricompostaje, utilizando especialmente la especie *Eisenia fetida*, implica el procesamiento de materiales orgánicos por lombrices, cuyo sistema digestivo especializado produce un fertilizante de alta calidad conocido como humus de lombriz. Estas lombrices pueden prosperar en ambientes aeróbicos y gestionar eficientemente grandes cantidades de residuos alimentarios, haciéndolas ideales para espacios confinados. (Domínguez, 2018).

El compost es el producto final de la descomposición de materia orgánica, con baja proporción de carbono y nitrógeno, alta porosidad y capacidad de retención de agua. Contiene nutrientes fácilmente absorbibles por las plantas en formas accesibles. Los desechos de lombrices, ricos en materia orgánica, presentan tasas elevadas de mineralización, facilitando la disponibilidad de nutrientes, especialmente nitratos y amonios (Domínguez, 2004).

Las lombrices Lumbricidae desempeñan un papel crucial al triturar y mezclar la materia orgánica, provocando modificaciones físicas, químicas y biológicas en el sustrato. Este proceso reduce la relación carbono:nitrógeno (C:N), favoreciendo las actividades microbianas y la descomposición debido al aumento de la superficie. Las lombrices del género *Eisenia* sobresalen en esta función (Ramnarain *et al.*, 2019).

El compost generado con lombrices rojas californianas destaca por su excelente calidad y se posiciona como una alternativa efectiva para tratar diversos residuos orgánicos, como estiércol de animales, desechos industriales y alimentos. Este proceso transforma estos desechos en un sustrato altamente nutritivo, adecuado para mejorar la calidad del suelo y aumentar la producción agrícola. (Bhat, *et al.*, 2015).

El compostaje con lombrices, una técnica de baja tecnología y respetuosa con el medio ambiente, se emplea para tratar residuos orgánicos. Su producto, el humus de lombriz, ha demostrado beneficios positivos para el crecimiento y la salud de las plantas, convirtiéndolo en una opción sostenible y viable frente a los fertilizantes inorgánicos (Lazcano y Domínguez, 2011).

Varias especies de lombrices de tierra se adaptan a hábitats específicos, pero la especie *E. fetida* es ampliamente utilizada de manera intensiva fuera de su entorno natural. Se emplea para la producción de compost a partir de diversos materiales, como estiércol de ganado, residuos domésticos y de jardín, entre otros. (Moreno y Cano, 2002).

Aunque se ha investigado ampliamente el compost producido mediante lombrices, persisten áreas que demandan una mayor exploración para ampliar nuestro entendimiento sobre sus propiedades y, específicamente, su impacto en la agricultura y el medio ambiente. Un aspecto relevante a considerar es su potencial para mitigar los gases de efecto invernadero y contribuir a la disminución del calentamiento global. Es esencial fomentar la producción sostenible, buscando formas de obtener beneficios económicos y sociales a partir de los residuos orgánicos. Al maximizar el aprovechamiento de los recursos y reducir la cantidad de residuos destinados a vertederos, podemos promover un futuro más sostenible y saludable para nuestro planeta.

### **1.1 Objetivo general**

Realizar una revisión exhaustiva de la literatura para describir detalladamente el compost generado mediante lombricultura, resaltando los beneficios vinculados a su producción y la influencia del estiércol animal en el cambio climático.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Definición y características del producto

Conocido como humus de lombriz, vermicompost o lombricompost, este producto es el resultado de alimentar a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) con residuos animales o vegetales en proceso de descomposición, es decir, predigeridos por microorganismos especializados como bacterias, hongos y otros microorganismos, los cuales transforman estos residuos hasta su último estado de descomposición, obteniendo la feca de lombriz como producto. El lombricompost es un material de estructura granular, color café oscuro, inodoro, uniforme, poroso y pH neutro. Libre de patógenos. Tiene altísima carga bacteriana (20 mil millones de colonias por gramo de lombricompost, el cual equivale a un fertilizante vivo casi al 100%) de acuerdo con Ferruzi (2007). El principal productor del humus de lombriz por su alta tasa de eficiencia es la lombriz roja californiana.

### 2.2 Lombrices de Tierra

Las lombrices de tierra son componentes de la fauna del suelo como se percibe en la Figura 1, las cuales participan en la dinámica del carbono, su abundancia y distribución están limitadas por las condiciones y el estado ecológico ambiente. En México el género *Eisenia* tiene tres especies, se considera exótico, pertenece a la familia Lumbricidae (Fragoso y Rojas, 2014).



Figura 1. Lombriz de tierra y su reproducción en su hábitat natural

Fuente: Earthworm Society of Britain (ESB, 2016), <https://humusylombrices.com/>

De acuerdo a Bouché (1997), existen tres grupos de clasificación de las lombrices de tierra, de acuerdo a la profundidad de hábitat en el suelo, descritos a continuación y ejemplificado en la siguiente figura (Figura 2).

*Epígeas*: Suelen vivir en la parte superficial de los suelos, alimentándose de la materia orgánica en esa zona del suelo, cuenta con una alta tasa de reproducción y un acelerado metabolismo, además suelen ser especies de tamaño pequeño y raramente forman galerías o madrigueras.

*Endógenas*: Habitan en distintas profundidades del suelo, suelen alimentarse de los productos de las raíces o de materia orgánica existente en la capa de tierra, son más longevas, pero tiene una baja tasa de reproducción, además pueden resistir periodos de hambre, y tienden a formar galerías horizontales.

*Anécicas*: Suelen moverse constantemente desde la parte superior del suelo hacia distintas profundidades, y en las noches suben a la superficie terrestre para alimentarse de los restos orgánicos, esta circulación permite que las lombrices formen canales verticales los cuales generan aireación en el suelo incrementando la oxigenación del mismo, suelen ser de gran tamaño y su tasa de reproducción suele ser baja.

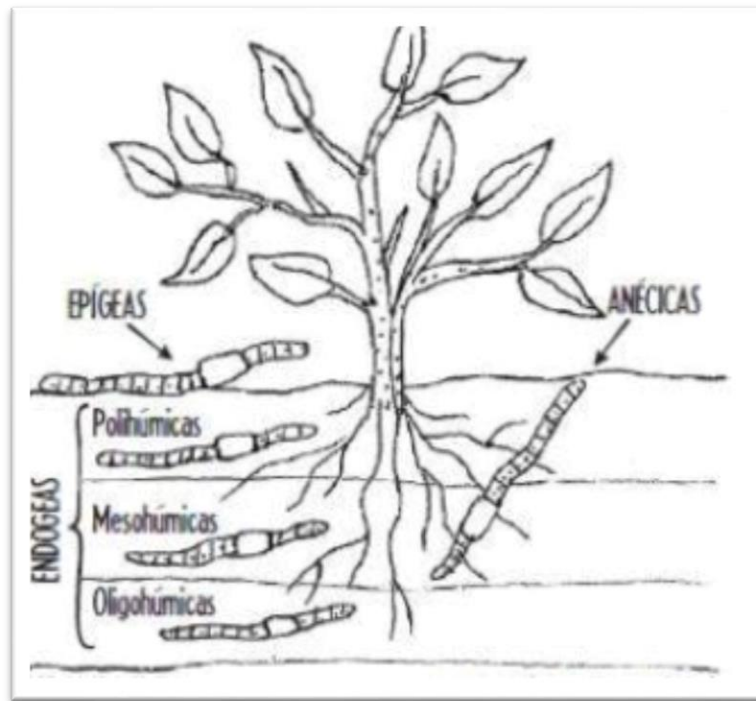


Figura 2. Tipos de lombrices

Para la producción de compost usando lombrices principalmente especies epigeas, que viven en los horizontes orgánicos, cercanos a la superficie del suelo, se alimentan de materia orgánica en grandes cantidades. Para que una especie sea considerada como adecuada para elaborar compost debe poseer ciertas características biológicas y ecológicas específicas como:

- a. Capacidad de colonizar los residuos orgánicos de forma natural
- b. Altas tasas de consumo
- c. Buena digestión
- d. Adecuada asimilación de la materia orgánica
- e. Tolerancia a factores ambientales
- f. Alta tasa reproductiva

- g. Rápido crecimiento y maduración de las crías para pasar a estado adultos
- h. Resistencia a la manipulación

Por lo tanto, pocas son las especies que presentan estas condiciones, sólo cinco especies se cumplen y por eso se han utilizado ampliamente principalmente: *Eisenia andrei* (Savigny), *Eisenia fetida* (Bouché), *Dendrobaena veneta* (Savigny) y en menor medida, *Perionyx excavatus* (Perrier) y *Eudrilus eugeniae* (Kinberg).

### 2.2.1 Especies del género *Eisenia*

En el caso particular de las lombrices del género *Eisenia* como se visualiza en la Figura 3, presenta preferencia para la producción orgánica de humus y fertilizantes orgánicos entre los productores e investigadores por reunir todas las anteriores condiciones.



Figura 3. Aspecto de la lombriz de tierra

Tomada de Earthworm Society of Britain (ESB, 2016)



La lombriz roja californiana es una especie compuesta por dos tipos, *E. fetida* y *E. andrei*, los cuales están estrechamente relacionados y son las más comúnmente utilizadas para el procesamiento de residuos orgánicos.

### 2.2.2 Descripción, taxonomía y ciclo reproductivo

Las especies que se describen son cosmopolitas y tienen la capacidad natural de colonizar residuos orgánicos. Además, son resistentes gracias a su tolerancia a una amplia gama de temperaturas y humedad, lo que las convierte en las especies dominantes en los cultivos mixtos en el compost. En cuanto a la biología y ecología de lombriz roja californiana en distintos residuos, la temperatura juega un papel crucial. La temperatura óptima para su crecimiento es de 25 °C, mientras que la temperatura crítica que produce su muerte es de 33.3 °C. Aunque algunos ejemplares aclimatados gradualmente pueden permanecer activos después de 11 días a 35 °C, estos casos son excepcionales y no lo habitual, como se detalla en el cuadro 2 según las especies. El contenido de humedad óptimo se sitúa entre el 80-90% (Domínguez y Gómez, 2010) (Tabla 1).

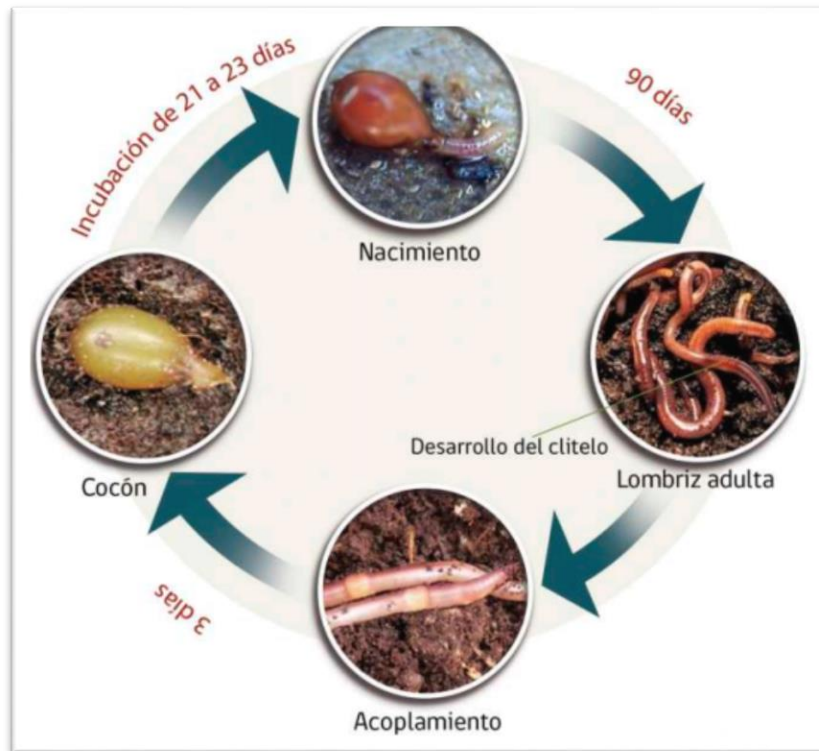
Tabla 1. Taxonomía de lombriz roja californiana

<i>Reino</i>	Animalia
<i>Phylum</i>	Annelida
<i>Clase</i>	Oligochaeta
<i>Orden</i>	Crassiclitellata
<i>Familia</i>	Lumbricidae
<i>Genero</i>	<i>Eisenia</i> Michaelsen, 1900
<i>Especie</i>	<i>Eisenia fetida</i> (Savigny, 1826) <i>Eisenia andrei</i> (Bouché, 1972)

Fuente: National Biodiversity Network de Reino Unido, 2016

En condiciones óptimas sus ciclos de vida (Figura 4), desde que es depositado el capullo hasta la puesta de capullos de la siguiente generación abarcan de 45 a 90 días. Los juveniles alcanzan la madurez de 21-30 días. Las cópulas ocurren cerca de la superficie y la puesta comienza en torno a las 48 h después de la cópula.

La tasa de producción es de 0.35-0.5 capullos por día. La viabilidad de eclosión es del 72-82% y el tiempo de incubación oscila entre 18 y 26 días. El número de descendientes por capullo varía entre 2.5-3.8 dependiendo de la temperatura (Domínguez y Gómez-Brandon, 2010).



Fuente: [www.inia.cl](http://www.inia.cl)

Figura 4. Ciclo reproductivo de la lombriz de tierra (roja californiana)

Tabla 2. Características de la lombriz de tierra

Parámetros	<i>E. fetida</i>	<i>E. andrei</i>
Categoría ecológica	Epigea	Epigea
Adultos		
Color	Marrón con bandas amarillas	Roja
Peso medio (g)	0.55	0.55
Tiempo maduración (días)	28-30	21-28
Capullos		
Número promedio por día producidos	0.35-0.5	0.35-0.5
Talla media (mm)	4.85 × 2.82	4.86 × 2.64
Viabilidad eclosión (%)	73-80	72
No. promedio de descendientes por capullo	2.5-3.8	2.5-3.8
Ciclo de vida (días)	45-51	45-51
Temperatura óptima y límites (°C)	25 (0-35)	25 (0-35)
Humedad óptima y límites (%)	80-85 (70-90)	80-85 (70-90)

Fuente: Domínguez y Gómez-Brandón, 2010

### 2.2.3 Biología

El término lombriz de tierra se refiere a un grupo específico de invertebrados del *Phylum annelida*, pertenecen a la clase Oligochaetes, que significa pocas cerdas. En todo el mundo hay más de 3,000 especies descritas y los avances en taxonomía utilizando ADN se han identificado nuevas especies y subespecies. Las lombrices de tierra su piel es permeable, necesitan un ambiente húmedo en el suelo o sustrato para vivir en condiciones adecuadas. Las diferentes especies de lombrices de tierra tienen requisitos individuales algunas especies viven en el compost, algunos viven en madrigueras profundas, otros en sustrato medio y algunas hacen redes de túneles muy complejos (ESB, 2016) como se ejemplifica en la Figura 5.



Figura 5. Túnel formado por la lombriz gigante de Gippsland  
Tomada de Beverly Van Praagh, 2016

A nivel mundial hay especies nativas de lombrices de tierra y otras que han sido introducidas por el hombre de forma intencional o por accidente (Reynolds, 1994).

Actualmente, se han descrito alrededor de 6,000 especies de lombrices de tierra, distribuidas en 20 familias. En México, el inventario de lombrices de tierra indica la existencia de 102 especies descritas, de las cuales 51 son nativas y 51 son exóticas. Las especies nativas son más comunes en los ambientes naturales, mientras que las exóticas predominan en los ambientes perturbados. Los estados con mayor cantidad de especies son Veracruz, Chiapas, Tamaulipas y Ciudad de México (Fragoso y Rojas, 2014).

La lombriz roja, también conocida como lombriz del estiércol, gusano rojo o gusano tigre, es la especie más utilizada en el compostaje. Esta lombriz es especialista de la superficie del suelo y se encuentra en las capas superiores ricas en materia orgánica en descomposición. Es originaria de Europa, está distribuida en todos los continentes, aunque se ha introducido en los Estados Unidos y México, no se considera una especie invasora en los ecosistemas naturales, ya que su baja capacidad de adaptación a

diferentes condiciones del suelo y el clima es limitada debido a su baja plasticidad edáfica y climática (Hendrix y Bohlen, 2002).

Las lombrices tienen un color rojo oscuro y respiran a través de su piel. Tienen una longitud de 50 a 80 mm, un diámetro de 30 a 50 mm y pesan alrededor de 1.4 g, con 110 a 140 segmentos. Son muy sensibles a la luz, y pueden morir en pocos minutos si están expuestas a los rayos solares. Su periodo de vida máximo es de 4.5 años y, bajo ciertas condiciones, su tasa de reproducción puede llegar a ser de hasta 1,300 lombrices al año (Figura 6).

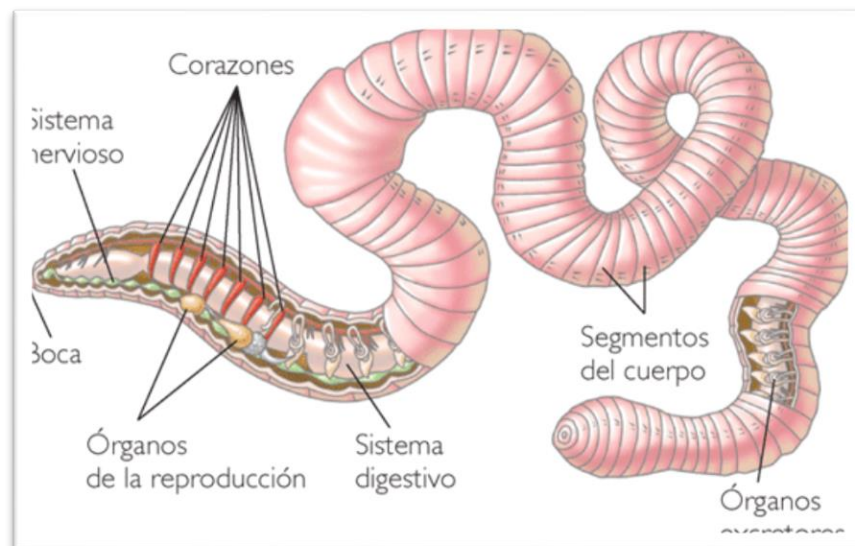


Figura 6. Anatomía de lombriz de tierra

Tomada de Diario de un granjero de ciudad

Las lombrices alcanzan la madurez sexual entre 30 y 45 días después de nacer y son hermafroditas, lo que significa que tienen ambos órganos reproductivos. Sin embargo, la fecundación es recíproca y puede causar efectos negativos en la endogamia y exogamia. Un estudio en *E. andrei* mostró que la endogamia redujo la producción de capullos en líneas genéticas entre familiares, incluso cuando las lombrices se aparearon con sus hermanos y no hermanos de la misma población (Porto *et al.*, 2012)

Durante el apareamiento, las lombrices adoptan una posición de cabeza a cola y se cubren con una capa de mucosa para intercambiar esperma. El clitelo produce un tubo de mucosa que recoge los huevos de la lombriz y el esperma de su compañero, y se desprende del cuerpo para formar los capullos que contienen los huevecillos fertilizados. Los capullos son pequeños, más pequeños que un grano de arroz, y de ellos emergen las lombrices jóvenes que son de color blanquecino con un tinte de color rosa. Una lombriz adulta puede producir hasta 100 capullos por año. En un estudio, se encontró que el apareamiento entre lombrices con parentesco redujo la producción de capullos en líneas genéticas entre familiares (ESB, 2016).

## **2. 3 Parámetros a considerar en la producción del lombricompost**

### 2.3.1 Factores Ambientales

Existen condiciones especiales de confort para las lombrices como lo desglosa el cuadro 3, esto con la finalidad de mantener un ambiente óptimo y productivo para las especies en la elaboración de compost usando lombrices (Domínguez y Edwards, 1997).

### 2.3.2 Temperatura

La producción de capullos, la tasa de desarrollo y crecimiento de las lombrices de tierra son afectadas por las condiciones ambientales, las lombrices de tierra son muy sensibles a los cambios de temperatura. La temperatura óptima para *E. fetida* es de 25 °C y su rango de tolerancia se encuentra desde 0 °C hasta 35 °C. Con temperaturas menores a 10 °C influyen para que se reduzca la actividad y el consumo de alimento, a menos de 4 °C se detiene por completo la producción, el desarrollo de los capullos y las actividades de las lombrices en el suelo. En condiciones de bajas temperaturas las lombrices tienden a hibernar y migrar a las capas más profundas del sustrato, no

pueden sobrevivir a largos periodos con temperaturas de congelación (Reinecke y Kriel 1981).

Las temperaturas mayores de 30°C promueven actividades microbianas que tiende a consumir el oxígeno disponible, con efectos negativos sobre la supervivencia de las lombrices de tierra (Domínguez y Edwards 2010). La temperatura crítica a la cual se produce su muerte es de 33.3 °C.

### 2.3.3 Contenido de Humedad

Hay una fuerte relación entre el contenido de humedad de los residuos orgánicos y la tasa de crecimiento de las lombrices de tierra. El contenido de humedad óptimo es del rango de 80-90%, preferentemente 85% de humedad en el estiércol para las especies *E. fetida* y *E. andrei* pueden sobrevivir en los rangos de humedad mayores de 60 % y en algunos casos hasta el 90 %, pero crecen más rápidamente en el rango optimo en los residuos orgánicos (Domínguez *et al.*, 2005).

### 2.3.4 pH

La mayoría de las lombrices de tierra epigeas pueden tolerar rangos de pH entre 5.0 a 9.0 (Domínguez y Edwards, 2011). En estudios la producción de capullos no presento diferencias significativas entre pH de 5.0 y 6.0, sin embargo, a pH de 4.0 se reduce la tasa de producción de capullos (Spurgeon y Hopkin,1996).

### 2.3.5 Aireación

Las lombrices de tierra carecen de órganos respiratorios especializados, el oxígeno y dióxido de carbono se difunden a través de la pared del cuerpo, son muy sensibles a condiciones anaeróbicos. Se ha observado que *E. fetida* que tiene a migrar de un sustrato saturado donde el oxígeno se ha agotado o donde el bióxido de carbono o sulfuro de hidrogeno se han acumulado (Domínguez y Edwards, 2011).

### 2.3.6 Amoniac y sales

Las lombrices son muy sensibles a las concentraciones de amonio, no pueden sobrevivir en residuos con excretas frescas de aves de corral que contienen altos contenidos de este catión, también perecen en desechos con grandes cantidades de sales orgánicas. Los desechos que contienen altos contenidos de amoniaco pueden ser utilizados para la alimentación, sin embargo, es importante la eliminación del catión mediante un periodo de pre compostaje o por lixiviación mediante el uso agua corriente, para lograr la máxima eficiencia debe adecuarse el sustrato y no provocar afectaciones a las lombrices.

Las excretas de las lombrices contienen principalmente nitrógeno, que se presenta en forma de amoniaco y urea en función de la dieta de las lombrices. En condiciones de alta humedad en el sustrato y cambios en el volumen o frecuencia de renovación del mismo, se ha observado que estos factores tienen poco efecto en el porcentaje de producción de amoniaco o urea por parte de las lombrices. (Needham, 1957).

Las lombrices de tierra tienen un papel activo en el ciclo del nitrógeno en el suelo, los residuos ricos en  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4$ , depositados en la drilosfera que es la zona del suelo influenciada por la acción de las lombrices, facilita el enriquecimiento de las poblaciones bacterianas (Parkin y Berry, 1999).

Las lombrices *E. fetida* tienen poca tolerancia a los suelos salinos, pero pueden mejorar la calidad del suelo mediante la enmienda con compost de residuos verdes. Esto aumenta los ácidos húmicos, nitrógeno y fósforo disponibles, lo que puede remediar los suelos salinos de dos maneras: en primer lugar, las madrigueras y cámaras de diapausa creadas por las lombrices aceleran la formación de poros del suelo, favoreciendo la infiltración de agua y el lavado de sales. En segundo lugar, las lombrices aceleran la descomposición de los materiales orgánicos, aumentando los nutrientes disponibles y mejorando el crecimiento de las plantas (Zhang, 2014).



### 2.3.7 Otros factores

Además de las condiciones ambientales, la densidad de población de lombrices de tierra también puede afectar las tasas de crecimiento y reproducción de estas. Incluso en condiciones físico-químicas ideales para la producción de lombricompost, se pueden presentar problemas debido al hacinamiento, lo que afecta en mayor medida a las lombrices más pequeñas (Domínguez y Edwards, 1997).

Tabla 3. Necesidades de condiciones de confort de *Eisenia*.

Condición	Requerimiento
Temperatura °C	15-20
Límite de temperaturas °C	4-30
Contenido de humedad %	80-90
Oxígeno	Aeróbico
Contenido de amonio en el sustrato mg g <sup>-1</sup>	Bajo < 1
Contenido de sales %	0.5

Fuente: Domínguez y Edwards, 1997

### 2.3.8 Enemigos y parásitos

Las lombrices de tierra pueden ser el objetivo de una amplia gama de depredadores, parásitos y agentes patógenos. Las lombrices de tierra son un componente importante de la dieta de muchos depredadores como las aves, los mamíferos, insectos como ciempiés, hormigas, escarabajos carábidos y estafilínidos y sus larvas también se alimentan de las lombrices de tierra.

Se considera que las lombrices de tierra tienen muchos parásitos internos, incluyendo protozoarios, platelmintos, del género Rotatoria, nematodos y larvas de mosca. El protozooario más común pertenece al género Gregaria. Se han encontrado estos protozoarios en diferentes partes del cuerpo de las lombrices de tierra, incluyendo el tracto digestivo, celoma, sistema sanguíneo, testículos, espermatecas, vesículas seminales e incluso dentro de los capullos. Los gusanos platelmintos también infestan

los cuerpos de las lombrices, aunque pocos les causan daños serios. Hay varios ejemplos de gusanos platelmintos que se encuentran en los cuerpos de las lombrices de tierra, los nematodos se producen en los tejidos, pocos parecen causar graves daños y con frecuencia la lombriz de tierra está actuando simplemente como un huésped intermediario para ellos. Algunos nematodos se encuentran de forma pasiva en las lombrices, otros se desarrollan dentro de la lombriz de tierra y algunos son verdaderos parásitos donde la lombriz de tierra es el único huésped (Domínguez y Edwards, 1997).

En cuanto a los protozoarios, su densidad no presenta una reducción significativa después de su paso por el intestino de la lombriz, el efecto sobre el número de protozoarios depende del grupo que pertenece, los flagelados son mayores en *E. fetida* y *E. andrei*, la densidad de amibas testada no presenta tampoco disminución. Esto se debe a que los protozoarios están en distintas formas activas y con resistencia, además que en la membrana de las células de los protozoarios implica la liberación de compuestos orgánicos que pueden ser asimilados y que parecen ser esenciales para el desarrollo de las lombrices de tierra (Monroy *et al.*, 2007).

Los ácaros se alimentan de los adultos y destruyen el capullo de lombrices de tierra, el más estudiado es *Histiostoma murchiei* que destruye afecta el desarrollo de las lombrices (Oliver, 1962). Los sistemas antioxidantes y antimicrobianos de las lombrices tienen la función de generar inmunidad, ya que es de vital importancia para la defensa de las lombrices *E. fetida* contra enfermedades, además de que pueden inhibir el crecimiento de *Escherichia coli* (Wang *et al.*, 2010).

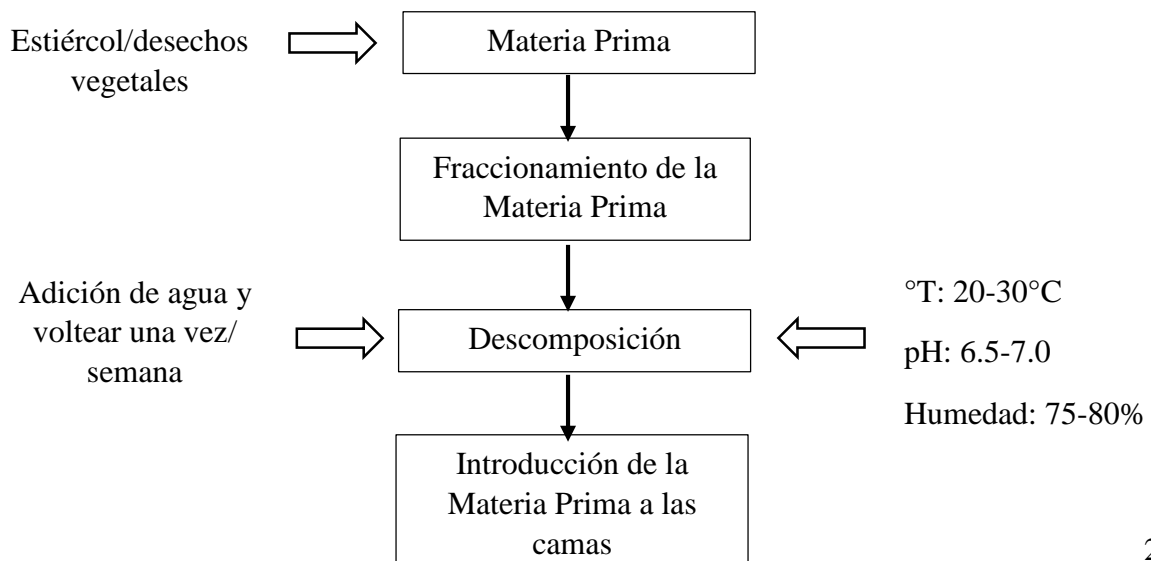
Las bacterias, tales como *Spirochaeta sp*, *Bacillus sp* y los hongos patógenos se han encontrado que parasitan las lombrices de tierra, Aunque poco se conoce de sus efectos sobre sus huéspedes (Domínguez y Edwards, 2011), pero en una evaluación de las comunidades bacterianas se encontraron las bacterias aeróbicas y anaerobias de las especies *Aeromonas* y *Bacillus* constituyen los microorganismos dominantes en el tracto intestinal de las lombrices de tierra y son los responsables de la actividad biodegradable de la materia orgánica que se produce durante el proceso de lombricompost (Hong, 2011).

Se menciona que las lombrices presentan parásitos internos, se evaluó el efecto del tránsito por el intestino del número de nematodos, protozoarios (flagelados, amibas) y coliformes totales en las especies *E. fetida*, *E. andrei*, *Lumbricus rubellus* y *Eudrilus eugeniae*. En los resultados se tiene que hay una disminución de hasta el 85% del número de coliformes totales en el estiércol de cerdo después de haber pasado por el intestino de las lombrices (Gómez-Brandon *et al.*, 2011).

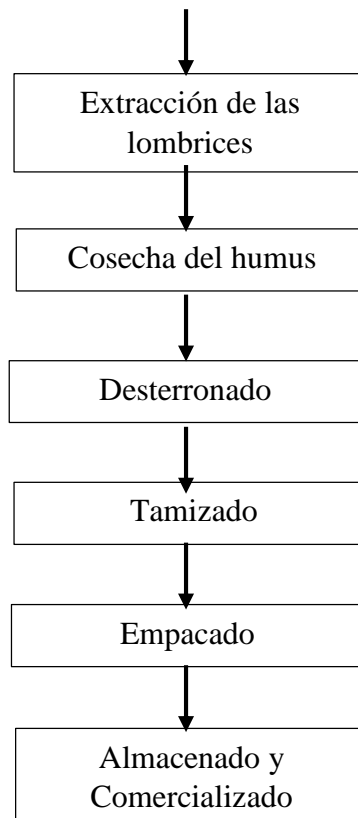
Se tienen registros desde 1963 de los posibles parásitos que podrían afectar a *E. fetida*, *Apolocystis lumbricolidi*, *Cephalocystis singularis*, *Monocystis cambrensis*, *Monocystis elongata*, *Monocystis lumbrici* y *Nematocystis elmassiani*. En cuanto a los protozoarios ciliados, se consideraba probable la presencia de *Anoplophrya alluri* en el intestino detrás de los órganos reproductores, *Maupasella mucronata* en el intestino, *Anoplophrya vulgaris* y *Maupasella cepedei* en la parte interior del intestino (Cox, 1968).

## 2.4 Proceso de producción del lombricompost

Dado que la lombriz no posee dientes para triturar su comida, es necesario aportar un pretratamiento físico (triturar, pulverizar) a la materia orgánica, para que le sea más fácil su asimilación, debido a que la lombriz chupa su alimento para poder biotransformarlo. El siguiente diagrama muestra las etapas a desarrollarse durante el proceso de obtención del humus (Figura 7).



Riegos constantes →



Adaptado de Morales Narváez (2016)

**Figura 7. Diagrama de flujo de la producción de lombricompost**

#### 2.4.1 Sustratos de estiércol de especies animales

El estiércol es una mezcla de las camas de las deyecciones de los animales, que ha sufrido fermentaciones. Se trata de un compuesto de naturaleza orgánico-mineral, con un bajo contenido en elementos minerales. En la siguiente tabla (Tabla 4) se muestra la composición química de los diferentes estiércoles con sus respectivos porcentajes considerando los diferentes tipos de abono.

Tabla 4. Composición química de los estiércoles

<b>Tipo de Estiércol</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Nitrógeno (%)</b>	<b>Fósforo (%)</b>	<b>Potasio (%)</b>
Caballo	74,0	3,31	1,15	1,30
Cerdo	80,0	3,73	4,52	2,89
Gallina	53,0	6,11	5,21	3,20
Oveja	64,0	3,81	1,63	1,25
Vaca	83,2	1,67	1,08	0,56

Fuente: Sans (2010)

Se estima que la población global de animales genera 28,474.19 toneladas de estiércol, resultando en emisiones de 52.30 kilotoneladas de metano (CH<sub>4</sub>) y 0.1658 kilotoneladas de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (FAO, 2023b).

Según la FAO, 2023a, la población mundial de bovinos alcanzó los 1,526 millones en 2022 y se utiliza para diversos fines, como la producción de carne, leche, cuero y otros productos. Este aumento se debe a factores como el crecimiento poblacional, la demanda creciente de carne y leche, y avances tecnológicos que han mejorado la productividad bovina. La tendencia al alza de la población bovina podría tener impactos ambientales significativos, ya que los bovinos son una fuente importante de gases de efecto invernadero.

El compostaje de excrementos no solo mejora la bioseguridad en su uso en diversas actividades, sino que también contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto facilita una gestión sostenible de los excrementos, disminuyendo los riesgos ambientales y de salud asociados a su aplicación en las tierras de cultivo (Cai, *et al.*, 2021).

Las lombrices rojas tienen una digestión excelente y consume cualquier tipo de material orgánico, se utilizan como recicladores de nutrientes, se ha utilizado diversos materiales como los estiércoles, materia orgánica de residuos de jardín, lodos obtenidos de plantas tratadoras de agua y otros observados en las ilustraciones 5 y 6 (Yadav y Garg, 2011). La base de la alimentación de las lombrices el sustrato más usual es el estiércol, de diferentes especies: caballo, bovino, caprino, ovino, porcino, además de estiércol de aves comúnmente conocida como gallinaza.



Figura 8. Ejemplos de ganado que provee estiércol

La lombriz de tierra es capaz de consumir una amplia variedad de alimentos, incluyendo hojas caídas de árboles, residuos de cosechas, material vegetal de malezas y productos industriales como papel y lodos provenientes de plantas de tratamiento. Por lo tanto, es importante tener en cuenta esta variedad de sustratos vegetales para su uso en la producción de lombricompost. Permite agregar valor a residuos que de otra manera afectarían negativamente el medio ambiente. Además, puede contribuir a reducir las emisiones de metano y dióxido de carbono proveniente de estiércoles sin manejo adecuado.

El compost obtenido a partir de diferentes sustratos orgánicos es de utilidad como mejorador de suelo, una buena fuente de nutrientes para las plantas en la agricultura, por los aspectos ecológicos y económicos que genera a los productores del campo (Garg *et al.*, 2006), se puede observar una explicación en el cuadro 4 con respecto a los sustratos utilizados.



Figura 9. Diversos tipos de materiales usados en la lombricompost

Tabla 5. Sustratos orgánicos utilizados en el lombricompost

Material	Beneficios	Referencia
Estiércol de vaca, de aves (gallinaza) y lodos	Ganancia de biomasa y la producción de capullos	Yadav y Garg, 2011
Residuos de cocina, residuos agrícolas, institucionales, desechos industriales, lodos de la industria textil y fibras	El contenido de nutrientes principalmente Nitrógeno y Fósforo es más alto en residuos industriales, residuos institucionales y finalmente agro residuos y residuos de cocina	Garg <i>et al.</i> , 2006
Residuos vegetales (desechos de verduras y frutas frescas y secas), material y papel de embalaje, paja de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> ) y estiércol de bovino	Aumento en N total, disponible los contenidos de P y K intercambiable y disminución en relación C: N hasta su límite aceptable 1:20	Suthar, S. (2009).
Residuos de hojarasca de roble plateado, bambú y estiércol de vaca	Incremento de biomasa total, en la población y el número de capullos etc. La hojarasca se puede utilizar como recurso para la producción del compost rico en nutrientes.	Suthar y Gairola, 2014.

#### 2.4.2 Productos obtenidos de la lombricompost

Las lombrices participan en el proceso realizando acciones a niveles espaciales y temporales; su papel más importante destaca:

- a) La fragmentación física del sustrato orgánico aumenta la superficie de exposición a los microorganismos al descomponerlo en pequeñas piezas, lo que facilita su acceso y descomposición.
- b) Durante el proceso, se produce una alteración en la composición, distribución y cantidad de la microflora presente en el residuo.
- c) La aireación del sustrato es mejorada gracias a las actividades de excavación y deyección llevadas a cabo por los organismos implicados en el proceso.

Durante el proceso de lombricompostaje, se producen cambios significativos en las propiedades físico-químicas y bioquímicas de los sustratos orgánicos, estos cambios ocurren a una velocidad notable y son esenciales para la producción de compost de



alta calidad. A nivel físico-químico, se produce una descomposición de los materiales orgánicos en sustancias más simples y estables, reducción del tamaño de las partículas y mejora en la capacidad de retener agua y nutrientes. A nivel bioquímico, promueve la actividad de microorganismos y enzimas que degradan los compuestos orgánicos, transformándolos en nutrientes fácilmente asimilables por las plantas. (Aira y Domínguez, 2010).

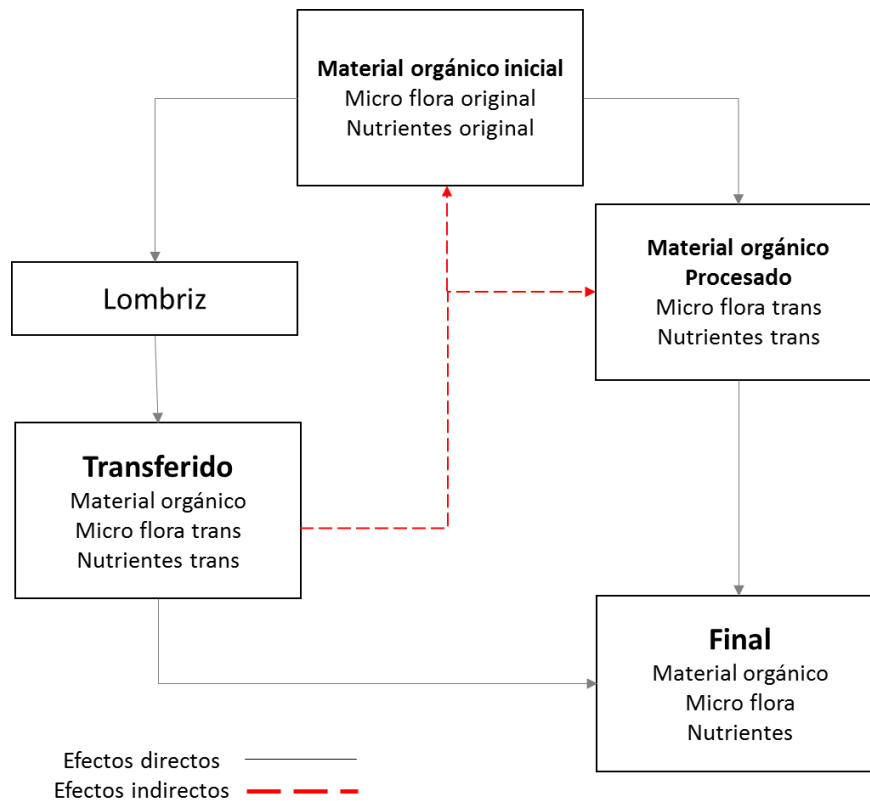


Figura 10. Efectos directos e indirectos del lombricompostaje

Fuente: Aira y Domínguez, 2015

La lombriz *E. fetida* produce efectos directos que afectan la dinámica de la degradación de la materia orgánica. Por un lado, incrementa la biomasa presente, pero, por otro lado, se observa una disminución en la actividad microbiana, probablemente debido a reducciones en los niveles de C y N orgánico. En el lombricompostaje, se obtienen

distintos productos que son de utilidad como se observa en la Figura 10.y que generan ingresos a los productores como:

- a) Lombrices para uso en la pesca
- b) Lombrices para pie de cría
- c) Lombricompostaje, fertilizante sólido
- d) Lixiviado de humus de lombriz

Este último es un fertilizante líquido para utilizarse en aspersión foliar o directamente al suelo, dichos productos podemos observarlos en las figuras 11, 12 y 13.



Figura 11. Ejemplares de lombriz roja



Figura 12. Fertilizante liquido proveniente de lombricompost de lombriz



Figura 13. Compost sólida y seca producto del proceso de lombricompostaje.

### 2.4.3 Beneficios del lombricompost en el suelo

La agricultura sustentable tiene como objetivo obtener a largo plazo suelos y plantas saludables, además buscar la menor dependencia de los insumos químicos como fertilizantes, insecticidas y herbicidas, las enmiendas de productos orgánicos como el lombricompost permite que los cultivos sean resistentes a las plagas de la raíz (Xiao *et al.*, 2016).

El humus de lombriz mejora el crecimiento de la planta del maíz y con ello el rendimiento, pero su efecto es reducido y tiene mejor respuesta cuando la disponibilidad de agua es limitada, esto sugiere que el compostaje podría ser un sustrato prometedor para mejorar la resistencia de los agro sistemas al estrés hídrico o sequía (Doan *et al.*, 2015)

La interacción entre el uso del compost en la agricultura orgánica y las malezas es compleja. Los suelos menos afectados o aquellos que utilizan prácticas de agricultura de conservación tienden a tener menos presencia de malezas. En contraste, la fertilización inorgánica puede aumentar la emergencia de malezas, lo que lleva al uso de herbicidas para su control, lo que puede ser perjudicial para el medio ambiente. En resumen, la fertilización orgánica y el control de malezas son elementos clave en la agricultura sostenible (Bajwa *et al.*, 2014).

Varios estudios han demostrado que agregar compost a los suelos y sustratos de cultivo mejora significativamente el crecimiento y la productividad de una amplia gama de cultivos hortícolas, como tomates, lechugas, pimientos, ajos y fresas, así como en leguminosas, gramíneas y hierbas aromáticas y medicinales. En la agricultura orgánica, el uso de abono y humus líquido de lombriz es común en las hierbas aromáticas y medicinales. Además, el uso de compost también se ha implementado con éxito en frutales, como plátanos y papayas, y en plantas ornamentales, como geranios, petunias, crisantemos y otras flores (Domínguez *et al.*, 2010).

El compost es una fuente eficiente de nutrientes para las plantas, incluyendo el trigo, ya que proporciona una fuente constante y disponible de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo. Esto reduce el estrés por salinidad en comparación con los fertilizantes

inorgánicos. (Chaoui *et al.*, 2003). La aplicación de compost con desechos orgánicos ha demostrado mejorar significativamente el crecimiento y el rendimiento de las plantas de frijol en comparación con las plantas que reciben aplicación de fertilizantes inorgánicos (Fernández *et al.*, 2010).

Los diferentes desperdicios orgánicos proporcionados como alimentos a las lombrices, representan fuentes indispensables de su composición mineral como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6. Composición de minerales de lombricompostaje con *Eisenia foetida*

Lombricompostaje	Ca	Mg	K	P	Fe	Cu	Zn	Mn
	%				mg/Kg			
Doméstico	3.6 <sup>a</sup>	0.6 <sup>c</sup>	3.3 <sup>b</sup>	1.7 <sup>b</sup>	5714 <sup>b</sup>	47 <sup>c</sup>	1118 <sup>a</sup>	218 <sup>d</sup>
Estiércol	2.3 <sup>c</sup>	0.7 <sup>b</sup>	1.1 <sup>cd</sup>	2.0 <sup>a</sup>	6124 <sup>b</sup>	64 <sup>b</sup>	308 <sup>b</sup>	422 <sup>c</sup>
Banano	1.8 <sup>d</sup>	0.8 <sup>a</sup>	6.8 <sup>a</sup>	1.7 <sup>b</sup>	5461 <sup>b</sup>	48 <sup>c</sup>	255 <sup>b</sup>	326 <sup>c</sup>
Ornamental	4.0 <sup>b</sup>	0.5 <sup>c</sup>	1.3 <sup>c</sup>	1.5 <sup>c</sup>	7353 <sup>b</sup>	54 <sup>cb</sup>	300 <sup>b</sup>	700 <sup>a</sup>
Broza	1.6 <sup>d</sup>	0.3 <sup>d</sup>	0.8 <sup>d</sup>	1.3 <sup>d</sup>	26489 <sup>a</sup>	105 <sup>a</sup>	181 <sup>b</sup>	558 <sup>b</sup>

<sup>abcd</sup>Medias con letras iguales en la misma columna, no difieren estadísticamente (P<0.05) (Durán y Henríquez, 2007). Macrominerales: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), Fósforo (P). Microminerales: Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn)

Tabla 7. Contenido de nitrógeno (N), materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO) y relación C/N de lombricompostaje de *Eisenia foetida*

Lombricomposta	N %	MO %	CO %	C/N
Doméstico	3.1 <sup>a</sup>	29.0 <sup>b</sup>	16.9 <sup>b</sup>	5.6 <sup>c</sup>
Estiércol	3.8 <sup>b</sup>	33.1 <sup>ab</sup>	19.2 <sup>ab</sup>	10.9 <sup>a</sup>
Banano	2.9 <sup>a</sup>	35.2 <sup>a</sup>	20.5 <sup>a</sup>	7.0 <sup>c</sup>
Ornamental	2.2 <sup>b</sup>	37.1 <sup>a</sup>	21.6 <sup>a</sup>	10.0 <sup>ab</sup>
Broza	1.0 <sup>b</sup>	29.3 <sup>b</sup>	17.0 <sup>b</sup>	9.2 <sup>b</sup>

<sup>abcd</sup>Medias con letras iguales en la misma columna, no difieren estadísticamente (P<0.05) (Durán y Henríquez, 2007).

Tabla 8. Composición química de harina de lombriz obtenida por liofilización (HL) y secado en estufa (HSE)

Componente (%)	HL	HSE
Humedad	11,6 ± 0.1	13.5 ± 0.1
Proteína bruta	62.3 ± 0.1	61.8 ± 0.2
Lípidos	7.9 ± 0.7	11.1 ± 0.2
Cenizas	7.9 ± 0.1	6.0 ± 0.8
<b>Carbohidratos totales</b>		
Fibra cruda	2.0 ± 0.3	3.7 ± 0.4
Carbohidratos solubles	8.3 ± 1.1	3.9 ± 0.3

Fuente: Vielma y Medina, 2006

Tabla 9. Plantas donde se ha realizado estudios de compost de lombriz

Uso	Cultivo	Aplicación	Referencia
Hierbas de olor	Albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> L.) variedades Napoletano y Sweet Genovese y	Humatos de lombricompost Lombricompost de estiércol de conejo	Reyes-Pérez <i>et al.</i> ,2014 Cabanillas <i>et al.</i> , 2013
	Albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> L.) variety Catamarca		
	Calabacin ( <i>Cucurbita pepo</i> )	Té de lombricompost de estiércol de aves	Wang <i>et al</i> , 2014
	Chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.) Chile húngaro	Lombricompost vs millicompost	Anilkumar <i>et al.</i> ,2012 Moreno-Resendez <i>et al.</i> ,2014
	Chile piquín ( <i>Capsicum annuum</i> L., var. aviculare)	Lombricompost de estiércoles (caprino, caballar y conejo)	Márquez <i>et al.</i> ,2012
	Chile serrano y jalapeño	Lombricompost de cabra y caballo	López-Espinosa <i>et al</i> , 2013 Moreno-Resendez <i>et al.</i> ,2015
	Tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.).	Lombricompost de estiércol de bovino	Rodríguez <i>et al.</i> ,2007
	Tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	Lombricompost Lixiviados de lombricompost de estiércol de bovino y Lombricompost de forrajes verdes	Moreno-Resendez <i>et al.</i> ,2005 Zaller, J. G. (2007). Tejada <i>et al.</i> , 2008

Hortalizas		Lombricompost	Fernández <i>et al.</i> ,2010 Jack <i>et al.</i> , 2012 Doan <i>et al.</i> ,2013
	Melón ( <i>Cucumis melo</i> L.) Cantaloupe cv Cruiser	Lombricompost de estiércoles (caprino, caballo y conejo)	Moreno-Resendez <i>et al.</i> ,2014
	Melón de invierno ( <i>Cucumis melo</i> L. var. <i>inodorus</i> )	Lombricompost y sustancias húmicas extraídas con solución neutra	Masciandaro <i>et al.</i> ,2014 Manh y Wang, 2014
	Fresa ( <i>Fragaria x ananassa</i> Duch.).	Lixiviados de lombricompost vía foliar	Singh <i>et al.</i> ,2010
Forestal	Huizache ( <i>Acacia farnesiana</i> )	Lombricompost de estiércoles (caprino, caballo y conejo)	Moreno-Resendez <i>et al.</i> ,2013
	<i>Crotalaria juncea</i>	Té de lombricompost	Wang <i>et al.</i> , 2014
Forraje	Trebol ( <i>Trifolium incarnatum</i> )	Té de lombricompost	Wang <i>et al.</i> , 2014
	Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	Lombricompost de lodos residuales Lixiviados	Fernández, <i>et al.</i> ,2010 Valdez <i>et al.</i> , 2011 Ayyobi <i>et al.</i> 2014
Granos Básicos	Maíz ( <i>Zea mays</i> L.)	Humus de lombriz Lombricompost	Roy <i>et al.</i> , 2010 Doan <i>et al.</i> ,2013
	Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> (L.))	Humus de lombriz Fertilizante líquido proveniente de lombricompost	Doan <i>et al.</i> ,2015 Gutiérrez <i>et al.</i> ,2008
Frutales	Avena Nogal pecanero ( <i>Carya illinoensis</i> )	Lombricompost Lombricompost	Contreras <i>et al.</i> ,2005 Giuffré <i>et al.</i> ,2011

Se han llevado a cabo evaluaciones de la aplicación vía foliar de lixiviados provenientes de lombricompost en plantas de fresa en la India, las cuales han demostrado una mejora en el área foliar, la materia seca y el rendimiento de los cultivos (Singh *et al.*,2010). La aplicación de compost modifica las propiedades químicas del suelo, lo que resulta en una mejor relación entre carbono y nitrógeno, un incremento en el pH y en la capacidad de intercambio catiónico. Esto, a su vez, reduce la disponibilidad de P, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, y se refleja en un incremento del rendimiento. (Doan *et al.*, 2013).

El humus de lombriz mejora el crecimiento y el rendimiento del maíz, especialmente cuando la disponibilidad de agua es limitada, lo que sugiere que el compost puede ser un sustrato prometedor para mejorar la resistencia de los sistemas agrícolas al estrés

hídrico (Doan *et al.*,2015). El lixiviado de lombricompost es una fuente rica en nutrientes para las plantas y se puede utilizar como fertilizante líquido, es recomendable que se diluya antes de aplicarse vía foliar, lo que puede disminuir su efectividad en el desarrollo y rendimiento de las plantas (Gutiérrez, *et al*, 2008).

La fertilización foliar con lixiviados de lombricompost mejora la calidad y el rendimiento del fruto de tomate debido a su alto contenido de sustancias húmicas que aumentan la capacidad de las plantas para captar nutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, lo que se refleja en una mayor concentración de clorofila (Tejeda *et al.*, 2008).

El té de compost mejora la estructura y la red alimentaria del suelo al aumentar el porcentaje de nematodos bacteriívoros y reducir los nematodos fungívoros y parásitos de las plantas, lo que resulta en una mayor integridad en el ciclo de nutrientes del suelo, mejores rendimientos y menor presencia de plagas y enfermedades (Wang *et al*, 2014).

#### 2.4.4 Bioinsecticida

El humus de lombricompost tiene propiedades bioinsecticidas y puede combatir patógenos, insectos, ácaros y nemátodos que afectan a las plantas. Además, cuando se agrega al suelo, aumenta la diversidad microbiana, lo que amplía la gama de microorganismos que pueden actuar como agentes de biocontrol contra diferentes agentes patógenos. A su vez, el compost es una fuente de nutrientes de liberación lenta, lo que permite que la planta acceda a ellos de manera progresiva según sus necesidades (Domínguez *et al.*,2010).



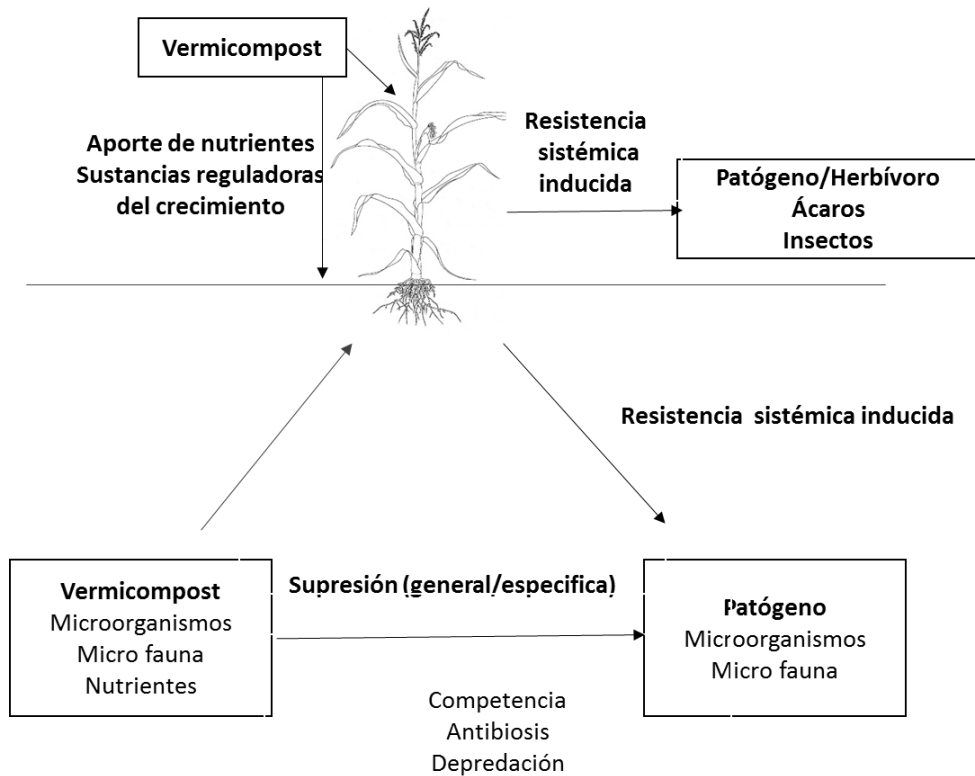


Figura 14. Esquema de los posibles mecanismos de supresión de patógenos

Fuente: Domínguez *et al.*, 2010

El lombricompost tiene un papel bioinsecticida debido a la supresión general que ocurre al incrementar la diversidad microbiana y de la fauna del suelo. Aunque no se conoce el mecanismo exacto de supresión, ni los factores que lo desencadenan, existen diferentes teorías posibles. Constituye también una fuente de nutrientes de liberación lenta para las plantas, en la Figura 14 muestra una posible teoría sobre el mecanismo de supresión de los patógenos. (Domínguez *et al.*, 2010).

El humus de lombriz tiene un efecto positivo en la disminución de la presencia de nemátodos y en la resistencia de las plantas a los mismos, esto se debe a la actividad microbiana y al aumento en el pH y en la concentración de ácido 3-indoleacético (IAA), que influyen en el crecimiento vegetativo y en la producción de metabolitos de defensa. Además, el humus de lombriz puede activar los genes relacionados con la defensa de

las plantas, disminuye el impacto de las plagas de la raíz y aumentar la resistencia de las plantas susceptibles al ataque de los nematodos. (Xiao *et al.*, 2016).

Tabla 10. Estudios de enfermedades de plantas por enmiendas orgánicas

Patógeno	Planta	Enmienda orgánicas	Forma y tasa de aplicación	Resultados/Mecanismos	Referencia
Hongo <i>Pytophthora cinnamomi</i>	Altramuz blanco <i>Lupinus albus</i> L.	Compost de estiércol de caballo	En medio de cultivo (15%, v/v)	Activación de agentes biocontrol (bacterias formadoras de endosporas)	Aryantha <i>et al.</i> (2000)
Hongo <i>Verticillium dahliae</i>	Cultivo de la papa <i>Solanum tuberosum</i>	Purín de cerdo	En medio de cultivo	Liberación de NH <sub>3</sub> y HNO <sub>2</sub>	Bailey & Lazarovits (2003)
Hongo <i>Pythium macrosporum</i>	Bulbos de lirio <i>Iris xiphium</i>	Compost de restos vegetales	En medio de cultivo (1%, p/v)	Incremento en la biomasa y la actividad microbiana	Van Os & van Ginkel (2001)
Hongo <i>Plasmodiophora brassicae</i>	Cultivo de calabacín	Compost de restos vegetales	En medio de cultivo (100%, v/v)	Modificación de las propiedades físico-químicas del sustrato (pH y conductividad eléctrica)	Tilston <i>et al.</i> (2002)
Hongo <i>Pythium ultimum</i>	Cultivo del chicharo	Compost de bagazo	En medio de cultivo (30%, v/v)	Incremento en la biomasa y la actividad microbiana Liberación de compuestos fenólicos	Erhart <i>et al.</i> (1999)
Hongo <i>Fusarium oxysporum</i>	Cultivo del tomate <i>Lycopersicon esculentum</i>	Compost de bagazo Compost de corteza de roble	En medio de cultivo	Incremento de la diversidad microbiana	Borrero <i>et al.</i> (2006)
Bacterias <i>Erwinia tracheiphila</i> <i>Pseudomonas syringae</i>	Cultivo del pepino <i>Cucumis sativus</i>	Compost de estiércol de vaca	En suelo (14,6 t/ha)	Activación de agentes biocontrol	Huelsman & Edwards (1998)

<i>Xanthomonas campestris pv. Vesicatoria</i>	Cultivo del tomate <i>Lycopersicon esculentum</i>	Compost de residuos hortícolas y animales	En suelo (62 t/ha)	Inóculo de microorganismos productores de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal Activación de agentes biocontrol	Abbasi <i>et al.</i> (2002)
Insectos minadores de la hoja del manzano <i>Phyllonorycter blancardella</i> Pulgón lanífero del manzano	<i>Eriosoma lanigerum</i> Manzano <i>Malus domestica</i>	Compost	En suelo (1.1-2.9 g/cm <sup>2</sup> )	Reducción significativa en las poblaciones de insectos patógenos	Brown & Tworkoski (2004)
Áfidos <i>Brevicoryne brassicae</i> L.	Brécol <i>Brassica oleracea</i>	Compost	En suelo (100kg/Ha)	Disminución significativa en la densidad de población de áfidos debido a la disminución en el contenido de N foliar	Ponti <i>et al.</i> (2007)
Áfidos <i>Rhodopalosiphum maidis</i>	Maíz <i>Zea mays</i>	Estiércol de vaca Compost	En el suelo 3000 kg/Ha	Disminución significativa en la densidad de población de áfidos debido a la disminución en el contenido de N foliar	Morales <i>et al.</i> (2007)
Escarabajo de la papa <i>Leptinotarsa</i>	Papa <i>Solanum tuberosum</i>	Estiércol de vaca	En el suelo (107 kg/Ha)	Disminución significativa en la densidad de población de	Alyokhin <i>et al.</i> (2005)

decemlineat a					escarabajos debido a cambios en la composición nutricional de las hojas	
Nematodo parásito de plantas <i>Pratylenchu s penetrans</i>	<i>Festuca alta</i> <i>Festuca arundinacea</i>	Purín de vaca	de	En el suelo (50- 100 kg/Ha)	Disminución significativa en la densidad de población de nematodos parásitos	Forge <i>et al.</i> (2005)
Nematodo parásito de plantas <i>Meloidogyn e incognita</i>	Cultivo de tomate <i>Lycopersicon esculentum,</i> cultivo de pimiento <i>Capsicum annuum</i>	de Residuos de cultivo de pimiento Estiércol de oveja - Estiércol de corral		En el suelo (1.5- 4 kg/m2)	Reducción significativa de la infección	Piedra Buena <i>et al.</i> (2007)

Fuente: Domínguez *et al.*, 2010

#### 2.4.5 Toxicología en el lombricompost

El humus de lombriz es una opción eficiente para la biorremediación de diversos tipos de efluentes debido a su capacidad de filtración. El lombricompost también se puede utilizar como filtro biológico, con la capacidad adicional de adsorber metales. Por lo tanto, se considera una tecnología de remediación económica, eficiente y respetuosa con el medio ambiente. (Singh *et al.*, 2015). La aplicación de herbicidas, como el glifosato, afecta de manera significativa a las lombrices jóvenes, ya que son más sensibles a estos químicos, que limita su crecimiento y disminuye sus funciones beneficiosas para el suelo y el ecosistema en general. (Domínguez *et al.*, 2016).

Tabla 11. Efectos de los químicos metales, insecticidas en *Eisenia*

Nombre	Tipo	Organismo	Estrategia	Referencia
Chlorpyrifos y diazinon	Insecticidas organofosforad os	<i>Aporrectode a caliginosa</i>	Evasión	Hodge <i>et al.</i> , 2000

---

		( <i>lumbricidae</i> )		
Dimetoato	Insecticidas organofosforados	<i>E. andrei</i>	Disminución de actividad	Velki y Hackenberger, 2013
Mercurio	Metal pesado	<i>E. fetida</i>	Disminución de la tasa de respiración y menor longitud de madriguera	Tang et al., 2014
Cu, Zn, Pb y Cd	Metal pesado	<i>E. fetida</i>	Bio concentración	Li et al., 2010
Imidacloprid, acetamiprid, nitenpiram, clotianidina y tiacloprid	Insecticidas Neonicotinoideas	<i>E. fetida</i>	Disminución de las actividades y la fecundidad	Wang et al., 2015
24 insecticidas	Insecticidas Neonicotinoideas (5), Antibióticos (3), reguladores de crecimiento de insectos (4), piretroides (4), carbamatos (4) y órganos fosforados (4)	<i>E. fetida</i>	Afectación en la piel	Wang et al., 2012
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Residuos industriales	<i>E. fetida</i>	Reducción de numero de capullos y juveniles	Bonnard et al., 2009
Glifosato	Herbicida	<i>Lumbricus terrestris L</i>	Ganancia de peso de lombrices pero disminución de la actividad	Zaller et al., 2014
Glifosato	Herbicida	<i>Lumbricus terrestres L</i> y <i>Aporrectode a caliginosa Savigny (Ac)</i>	Disminución de la reproducción	Gaupp-Berghausen et al., 2015

---

As, Pb, Cu, Zn		Metales pesados	<i>E. fetida</i>	Concentración en tejidos de lombriz	Song <i>et al.</i> ,2014	<i>et</i>
Imidacloprid		Insecticidas Neonicotinoideos	<i>E. fetida</i>	Inhibición del desarrollo, engordamiento de la parte inferior de la lombriz y muerte	Fernández <i>et al.</i> ,2011	<i>et</i>
Decabromodifenil éter y plomo		Metales pesados de Residuos electrónicos	<i>E. fetida</i>	Afectando la supervivencia. Disminución de la longitud de la cola y la cola de oliva momentánea (olive tail momento).	Zhang <i>et al.</i> , 2014	
Guadipyr		Insecticidas Neonicotinoideos	<i>E. fetida</i>	No indujo daño del ADN. Sin afectación en crecimiento y reproducción	Wang <i>et al.</i> ,2015	<i>et</i>
Abamectina		Insecticida-Acaricida	<i>E. andrei</i>	Alteraciones morfológicas: adelgazamiento, decoloración de la región posterior; constricción en diferentes regiones del cuerpo; la fragmentación y pérdida de segmentos, principalmente en la región posterior, alteraciones del comportamiento como letargo o lentitud en la respuesta a los estímulos mecánicos y pérdida de peso.	Nunes <i>et al.</i> ,2012	<i>et</i>

Ácido aminometilfosfónico principal metabolito de glifosato	Herbicida	<i>E. andrei</i>	Mayor incremento de capullos y jóvenes. Menor peso en jóvenes	Domínguez <i>et al.</i> ,2016
Nanopartículas TiO2 y ZnO	Metales pesados	<i>E. fetida</i> (Savigny, 1826)	Daño en mitocondrias de las células intestinales. Inhibición de la celulasa. Daño en el ADN de la lombriz	Hu <i>et al.</i> ,2010
Desechos industriales de bebidas, destilería y papel		<i>E. fetida</i> (Savigny, 1826)		Singh <i>et al.</i> ,2015

El uso de neonicotinoides en cultivos deja residuos en los restos vegetales después de la cosecha, los cuales pueden ser reciclados mediante lombricompostaje con estiércol bovino. Los efectos de imidacloprid en lombrices muestran que dosis  $\geq 5$  mg kg<sup>-1</sup> impiden su crecimiento y causan la muerte, mientras que dosis de  $\leq 2$  mg kg<sup>-1</sup> permiten el crecimiento, pero no la reproducción. Otros microorganismos del sustrato de lombricompost también se ven afectados por una reducción en la actividad de la enzima hidrogenasa, la cual se utiliza como biomarcador para analizar los efectos de insecticidas sobre la microbiota como se muestra en el Cuadro 12 (Fernández *et al.*, 2011).

El uso de lombrices in situ o la aplicación de compost no solo facilitan la disponibilidad de nutrientes en los suelos agrícolas, sino que también puede reducir el riesgo de contaminación por metales pesados en los productos agrícolas. (Song *et al.*, 2014)

El uso de herbicidas es cada vez más común en la agricultura y jardines privados, y puede tener efectos negativos en la reproducción de las lombrices, como una reducción del 56% en un plazo de tres meses después de la aplicación. Además, estos químicos pueden aumentar las concentraciones de nitratos y de fosfato, lo que

aumenta el riesgo de lixiviación en arroyos, lagos o acuíferos subterráneos y sus consecuentes efectos en el medio ambiente (Gaupp-Berghausen *et al.*, 2015)

Los herbicidas que contienen glifosato son ampliamente utilizados en la agricultura y jardines en zonas urbanas, sin embargo, poco se conoce sobre los efectos secundarios potenciales en los organismos que viven en el suelo. Se encontró que la aplicación del producto disminuyó significativamente la micorrización de la raíz, la biomasa de esporas de hongos micorrízicos arbusculares, además que incremento el peso de las lombrices, pero las volvió menos activas, cuando se aplican los herbicidas hay una reducción en la humedad del suelo que afectan el ambiente de las lombrices (Zaller *et al.*, 2014).

Las lombrices de tierra procesan grandes cantidades de material vegetal en el suelo y pueden acumular muchos contaminantes, como metales pesados, que se consideran bioacumuladores para especies como Pb, Cu, Zn y Hg (Roux *et al.*, 2016).

En resumen, los neonicotinoides son los productos más utilizados para controlar plagas en los cultivos. Sin embargo, estudios han demostrado que productos como el imidacloprid, acetamiprid, nitenpiram, clotianidina y tiacloprid y se muestran en el cuadro 8, tienen un efecto negativo en la reproducción de las lombrices de tierra. Estos productos tienen una alta toxicidad y pueden afectar la actividad y la fecundidad de las lombrices, además de dañar las células de su epidermis y su intestino medio (Wang *et al.*, 2015). Los neonicotinoides en las lombrices de tierra, son los insecticidas más tóxicos, su afectación es mayor al resto de insecticidas evaluados como los antibióticos, carbamatos, organofosforados y reguladores de crecimiento de insectos. Por el contrario, los piretroides son los menos tóxicos para las lombrices, *E. fetida* es más susceptible a los neonicotinoides que otros insecticidas sintéticos modernos (Wang *et al.*, 2012).

Tabla 12. Parámetros de toxicidad de 24 insecticidas en *Eisenia*



Tipo de Insecticida	Nombre	Nivel de Toxicidad
Neonicotinoide	Acetamiprid	Supertoxico
	Clorhianidin	Supertoxico
	Imidacloprid	Supertoxico
	Nitenpytam	Supertoxico
	Thiaclopid	Supertoxico
Antibiotico	Abamectin	Muy toxico
	Emamectin benzoato	Muy toxico
	Ivermectina	Muy toxico
Reguladores del crecimiento de insectos	Buprofezin	Moderadamente toxico
	Chlorfluazuron	Moderadamente toxico
	Hexaflumuron	Moderadamente toxico
	Tebuferozide	Moderadamente toxico
Piretroides	Cyhalothrin	Muy toxico
	Cypermethrin	Muy toxico
	Fenpropathrin	Muy toxico
	Lamba-cyhaltrin	Muy toxico
Carbamato	Carbosulfan	Muy toxico
	Isoprocarb	Extremadamente toxico
	Metocarb	Extremadamente toxico
	Promecarb	Muy toxico
	Chlorpyrifos	Muy toxico
Organofosforado	Phoxim	Muy toxico
	Pyridaphenthion	Extremadamente toxico
	Trizophos	Muy toxico

La estrategia de las lombrices de tierra de inhibir su crecimiento como respuesta natural a la presencia de toxinas es común no sólo para metales pesados sino también para productos químicos orgánicos. La combinación de ambos productos químicos muestra antagonismo y puede tener efectos significativos en las respuestas bioquímicas y fisiológicas de las lombrices de tierra, según estudios realizados. según estudios hechos por Zhang *et al.*, (2014).

El uso de herbicidas tiene consecuencias negativas en los organismos del suelo y por lo tanto daño ecológico, en particular, se ha encontrado las sustancias que contienen el herbicida QYR301 provoca un exceso de especies reactivas de oxígeno, lo que a su vez produce estrés oxidativo, daño al ADN y peroxidación de la membrana lipídica en las lombrices de tierra (Wang *et al.*, 2020).

El sulfentrazone, herbicida comúnmente empleado en la agricultura moderna, fue objeto de estudios sobre su toxicidad en *E. fetida*. Se observó que produce efectos negativos en el organismo, incluyendo estrés oxidativo, cambios histopatológicos y daño en el ADN. Los especímenes estudiados presentaron daño en sus tejidos, aunque estos efectos tóxicos fueron temporales, ya que después de 14 días se observó una reversión parcial de los mismos (Li *et al.*, 2020).

El herbicida Roundup que contiene glifosato tiene un impacto negativo en las lombrices rojas californianas, una disminución en su masa corporal y supervivencia. Sin embargo, las formulaciones de Roundup que contienen nitratos y fosfatos pueden contrarrestar los efectos tóxicos del glifosato al estimular el crecimiento microbiano y acelerar su degradación. También se observó una disminución en la biomasa fúngica, lo que sugiere que las lombrices se alimentaron de hongos y esporas (Pochron *et al.*, 2020).

Las lombrices son capaces de degradar hasta el 90% del glifosato, lo que las convierte en una valiosa herramienta para la bioremediación del suelo. Además, estas lombrices son eficaces en la degradación del principal metabolito del herbicida, el ácido aminometilfosfónico (AMPA), y pueden tolerar altas concentraciones de glifosato sin afectar sus características vitales de estos organismos del suelo (Lescano *et al.*, 2020).

#### 2.4.6 Compost para reducción de emisiones de efecto invernadero

La agricultura es altamente susceptible al cambio climático, lo que, combinado con el aumento de la población mundial, presenta una amenaza para la seguridad alimentaria global. A corto plazo, el aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de precipitación reducen el rendimiento de los cultivos, y la presencia de plagas y malezas también afecta negativamente la producción. Los países en desarrollo serán los más afectados, ya que el 75% de los pobres del mundo viven en áreas rurales y dependen de la agricultura como fuente de sustento. Esto podría generar una mayor inseguridad alimentaria en estas poblaciones vulnerables (Nelson *et al.*, 2009)

La agricultura intensiva actual se enfoca en la producción masiva de cultivos comerciales y cereales, lo que a su vez está deteriorando el medio ambiente a un ritmo alarmante. El uso excesivo de productos químicos como fertilizantes, insecticidas, herbicidas y reguladores de crecimiento, así como prácticas de manejo del suelo deficientes y la utilización de maquinaria, están provocando contaminación ambiental, deforestación y degradación del suelo. Además, estos factores combinados con el cambio climático, están poniendo en riesgo la disponibilidad de alimentos para la población (Bajwa *et al.*,2014)

Existe una competencia por la apertura de tierras para la agricultura, a menudo de manera ilegal, en zonas forestales o boscosas de todo el mundo (Sloan y Sayer, 2015). Las transformaciones en la vegetación y el suelo del planeta pueden deberse a distintos factores, incluyendo eventos naturales como sequías, incendios forestales, tormentas y enfermedades, así como a actividades humanas tales como la deforestación para la agricultura, la explotación excesiva de los recursos naturales, el desarrollo urbano y la construcción de infraestructuras (Keenan *et al.*,2015)

La agricultura orgánica puede ofrecer una alternativa eficaz en cuanto al uso de energía, al ser una forma de producción sostenible que no depende de fuentes energéticas, a diferencia de la agricultura convencional, que está vinculada al suministro de insumos derivados del petróleo (Smith *et al.*,2015).

A nivel global, la emisión per cápita de dióxido de carbono es de 1,133.25 toneladas métricas. Esta emisión se debe al consumo de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y a la quema de gas (Banco Mundial, 2011), en el continente americano, los mayores productores de dióxido de carbono son los Estados Unidos, Argentina y Brasil, mientras que en Asia destacan China, India y Pakistán. Finalmente, Australia también es uno de los principales países productores de CO<sub>2</sub> a nivel mundial como se observa en la Figura 15.

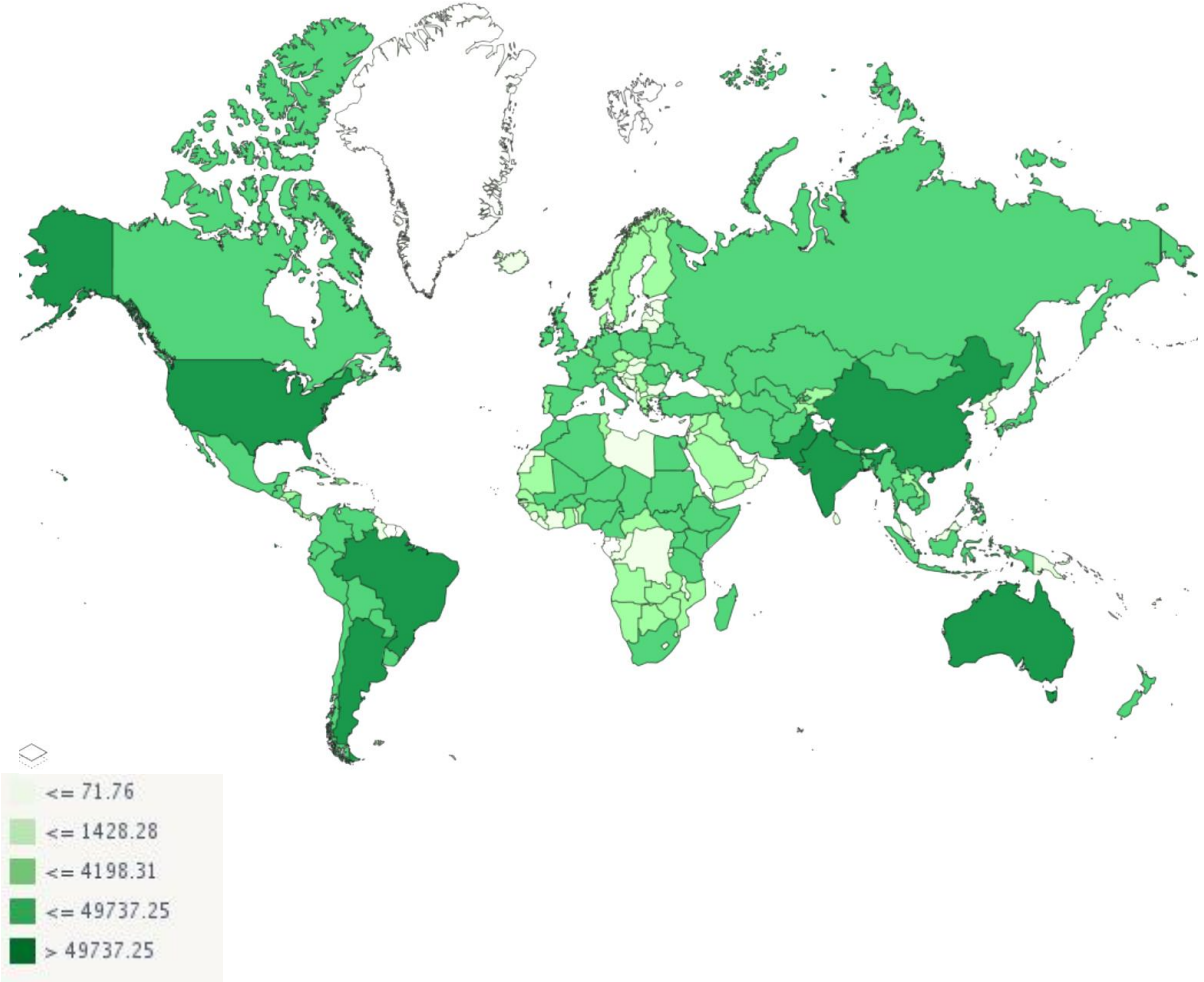


Figura 15. Emisiones de carbono a nivel mundial (CO<sub>2</sub>eq)

Fuente: FAO,2016

A pesar de la implementación de energías alternativas en México de 2015 a 2030, se espera que el consumo de derivados del petróleo siga siendo elevado, especialmente de gasolina, lo que se traducirá en un incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Elías *et al.*, 2015).

El lombricompostaje es una alternativa viable para gestionar los residuos derivados del ganado, tales como el estiércol, que suelen generar emisiones de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Entre las opciones recomendadas para las actividades ganaderas, es una alternativa beneficiosa:

1. Implementar tecnologías y prácticas que mejoran la eficacia de la producción a nivel del hato, alimentos de mejor calidad y el balanceo de raciones para reducir las emisiones entéricas y de estiércol
2. Mejorar la selección y sanidad de los animales que ayude a reducir la sobrecarga del hato y con ello menos emisiones

Estas opciones representan costos de inversión y manejo, por lo tanto, la elaboración de productos orgánicos a partir de la lombriz o el compostaje es una opción más práctica y efectiva para la mitigar los efectos de los gases en el calentamiento global (Gerber *et al.*,2013) de acuerdo con el cuadro 9 donde se muestran las fuentes de emisiones.

Tabla 13. Fuentes de emisiones de GEI de las actividades ganaderas

Cadena de suministro	Actividad	Gas efecto invernadero	Incluida	No incluida
Fase anterior a la unidad de explotación	Producción de raciones	N <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O directo o indirecto proveniente de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• La aplicación de N inorgánico</li> <li>• La aplicación de estiércol</li> <li>• El depósito directo del estiércol debido al pastoreo y a los animales que se alimentan con residuos</li> <li>• El manejo de residuos agrícolas</li> </ul>	Pérdidas de N <sub>2</sub> O relacionadas con cambios en las reservas de C <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quema de biomasa</li> <li>• Fijación biológica</li> <li>• Emisiones de fertilizantes no nitrogenados y la cal</li> </ul>
		CO <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O CH <sub>4</sub>	Uso de energía en las operaciones de campo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de energía en el transporte y elaboración de raciones</li> <li>• Fabricación de fertilizantes</li> <li>• Mezcla de raciones</li> <li>• Producción de raciones no agrícolas (harina de pescado, cal y</li> </ul>	Cambios en las reservas de carbonos debidos al uso de la tierra bajo prácticas de manejo constantes

			aminoácidos sintéticos)	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• CH<sub>4</sub> proveniente del cultivo de arroz por anegamiento</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de uso de la tierra relacionado con el cultivo de soja</li> </ul>	
	Producción no relacionada con los raciones	CO <sub>2</sub>	Energía indirecta relacionada con la construcción de edificios y fabricación de equipos en las unidades de explotación	Fabricación de productos de limpieza, antibióticos y medicamentos
Unidad de producción animal	Producción ganadera	CH <sub>4</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fermentación entérica</li> <li>• Manejo del estiércol</li> </ul>	
		N <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O directo e indirecto proveniente de la gestión del estiércol	
		CO <sub>2</sub>	Uso directo de energía en las explotaciones agrícolas para el ganado (por ejemplo, refrigeración, ventilación y calefacción)	
Fase posterior a la unidad de explotación	Posterior a la explotación	CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> HFCs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte de animales vivos y productos al matadero y a la planta</li> </ul>	Tratamiento de aguas residuales en el lugar

---

<p>de elaboración</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte de productos elaborados a los puntos de venta al por menor</li> <li>• Refrigeración durante el transporte</li> </ul> <p>y la elaboración</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboración primaria de la carne en canales y cortes de carne, y de los huevos</li> <li>• Fabricación de envases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones provenientes de desechos animales o emisiones ahorradas debido a la generación de energía en el lugar a partir de residuos</li> <li>• Emisiones derivadas de subproductos de matadero (por ejemplo, grasas, despojos, cueros y pieles)</li> <li>• Uso de energía en la venta y después de la venta</li> <li>• Eliminación de residuos en las fases de venta y posventa</li> </ul>
---	--

---



Las emisiones generadas por las actividades pecuarias son significativas, con el 50% proveniente de la elaboración y transporte de forrajes, la fertilización de cultivos y la aplicación de estiércol en pastizales, lo que genera importantes emisiones de N<sub>2</sub>O. La fermentación entérica es la segunda fuente más importante, contribuyendo con aproximadamente el 40% de las emisiones totales, principalmente debido a la emisión de CH<sub>4</sub> entérico por el ganado vacuno. Por último, la acumulación de estiércol representa el 10% de las emisiones totales (Gerber *et al.*, 2013).

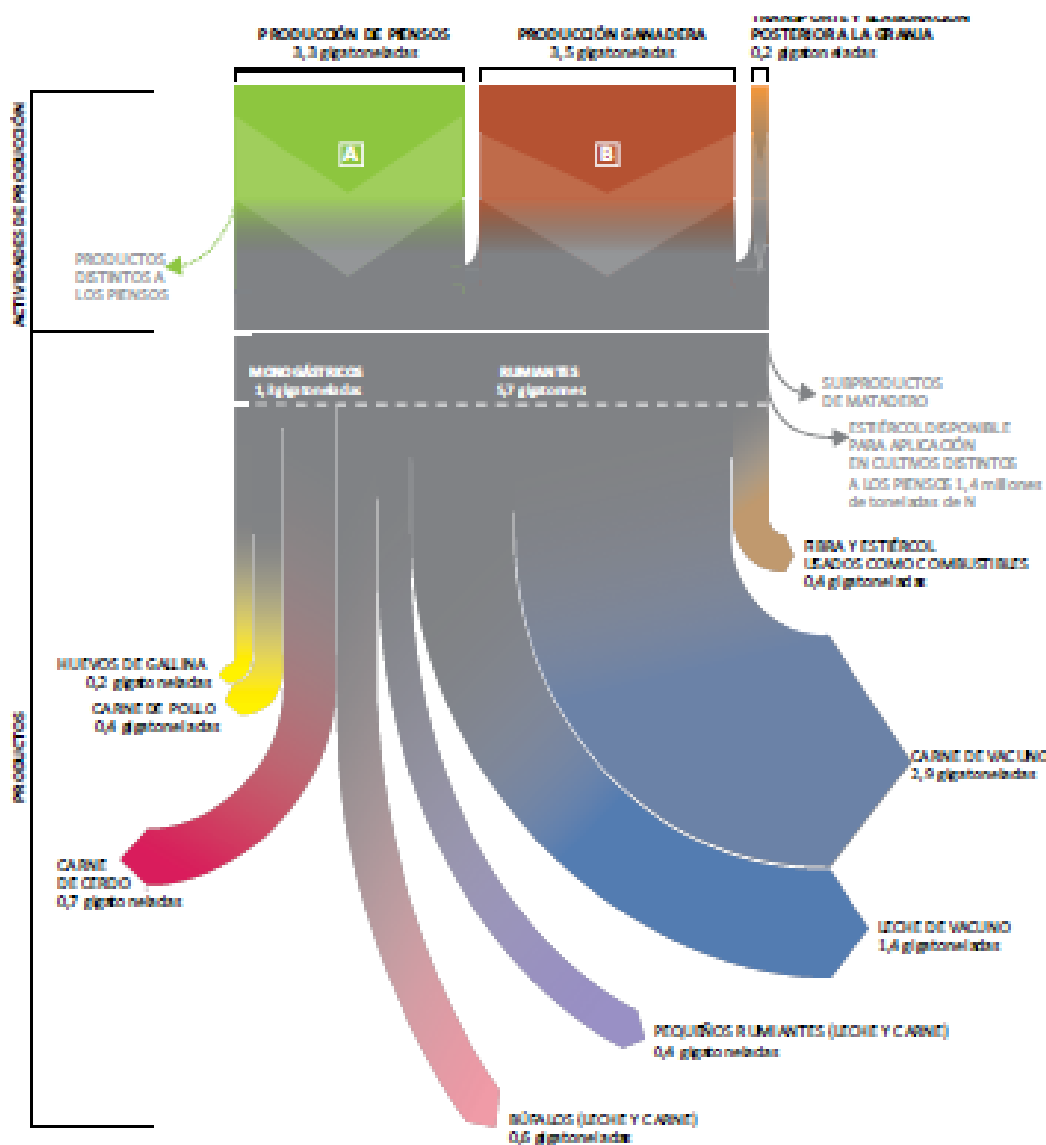


Figura 16. Emisiones de GEI de las cadenas de suministro ganadero

Por lo tanto, haciendo una proyección en cuanto a la estimación de la producción de (CO<sub>2</sub>eq) en la agricultura con fertilizantes inorgánicos como mostramos en la Figura 16 es mayor que la fertilización con productos orgánicos en México, lo que hace necesario fomentar esta tecnología en beneficio del planeta.

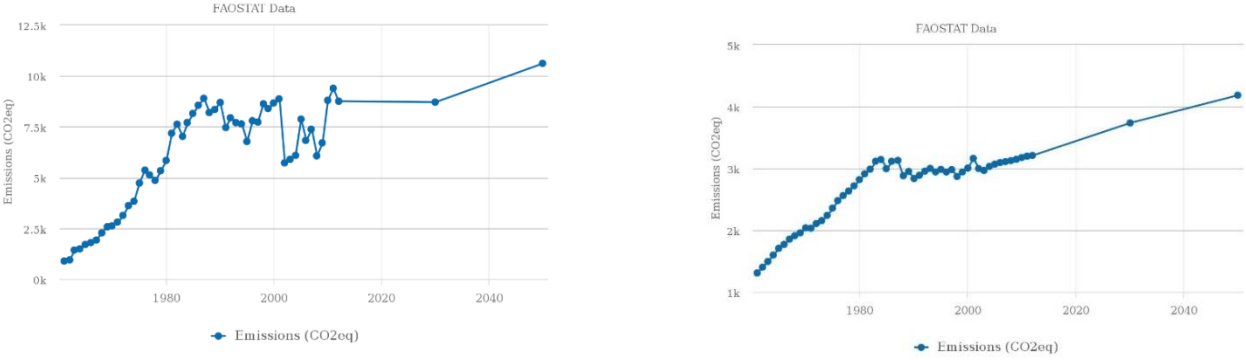


Figura 17. Emisiones de CO<sub>2</sub> con fertilización inorgánica y con orgánica

Fuente: FAO, 2016

### III. CONCLUSIONES

La revisión permitió obtener información científica acerca de su composición, propiedades y efectos en la agricultura y el medio ambiente. Esto puede contribuir a mejorar la comprensión de los procesos biológicos involucrados y a desarrollar estrategias para optimizar la producción y uso del compost de lombriz.

El uso del lombricompost como fertilizante orgánico es una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos, los cuales pueden tener efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana. Investigar acerca de este producto puede contribuir a fomentar su uso como parte de una producción agrícola más sostenible. Tiene un potencial económico y social importante, ya que puede ser producido de forma local y a partir de residuos orgánicos. Investigar acerca de este producto puede contribuir a identificar oportunidades de negocio y desarrollo local basado en la economía circular.

Finalmente, aunque hay mucho conocimiento disponible acerca del compost de lombriz de tierra, aún hay áreas de investigación que pueden ser exploradas, tales como:

- Investigación sobre la influencia de diferentes factores en la calidad del compost de lombriz, como la composición de los residuos orgánicos utilizados como materia prima, la cantidad y tipo de lombrices utilizadas, el tiempo de compostaje, entre otros.
- Estudios que analicen los efectos del compost de lombriz en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y en la mitigación del cambio climático.
  - Investigación sobre la efectividad del compost de lombriz en la eliminación de contaminantes, como metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes, presentes en los residuos orgánicos utilizados en su producción.

#### IV. LITERATURA CITADA

- Aira, M., & Domínguez, J. (2010). Las lombrices de tierra y los microorganismos: desentrañando la caja negra del Vermicomposteo. *Acta zoológica mexicana*, 26(SPE. 2), 385-395.
- Anilkumar, C., Ipe, C., Bindu, S., Chitra, C., Mathew, P., & Krishnan, P. (2012). Evaluation of millicompost versus vermicompost. *Current Science*, 103(2), 140.
- Ayyobi, H., Hassanpour, E., Alaqemand, S., Fathi, S., Olfati, J. A., & Peyvast, G. (2014). Vermicompost Leachate and Vermiwash Enhance French Dwarf Bean Yield. *International Journal of Vegetable Science*, 20(1), 21-27.
- Bajwa, A. A., Anjum, S. A., Nafees, W., Tanveer, M., & Saeed, H. S. (2014). Impact of fertilizer use on weed management in conservation agriculture-a review. *Pakistán Journal of Agricultural Research*, 27(1).
- Bhat, S. A., Singh, J., & Vig, A. P. (2015). Potential utilization of bagasse as feed material for earthworm *Eisenia fetida* and production of vermicompost. *Springerplus*, 4(1), 1-9.
- Bonnard, M., Eom, I. C., Morel, J. L., & Vasseur, P. (2009). Genotoxic and reproductive effects of an industrially contaminated soil on the earthworm *Eisenia fetida*. *Environmental and molecular mutagenesis*, 50(1), 60-67.
- Cabanillas, C., Tablada, M., & Ledesma, A. (2013). Vermicompost: alternative to urea in basil seed production. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 24(2), 165-177.
- Cai, Y., Tang, R., Tian, L., & Chang, S. X. (2021). Environmental impacts of livestock excreta under increasing livestock production and management considerations: Implications for developing countries. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 24, 100300.
- Chaoui, H. I., Zibilske, L. M., & Ohno, T. (2003). Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(2), 295-302. doi:10.1016/S0038-0717(02)00279-1

- Contreras-Ramos, S. M., Escamilla-Silva, E. M., & Dendooven, L. (2005). Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat straw. *Biology and Fertility of Soils*, 41(3), 190-198.
- Cox, F. E. G. (1968). Parasites of British earthworms. *Journal of Biological Education*, 2(2), 151-164. DOI:10.1080/00219266.1968.9653526
- Doan, T. T., Ngo, P. T., Rumpel, C., Van Nguyen, B., & Jouquet, P. (2013). Interactions between compost, vermicompost and earthworms influence plant growth and yield: a one-year greenhouse experiment. *Scientia Horticulturae*, 160, 148-154.
- Doan, T. T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J. L., & Jouquet, P. (2015). Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment*, 514, 147-154.
- Domínguez, J., Velando, A., & Ferreira, A. (2005). Are *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* (Oligochaeta, Lumbricidae) different biological species?. *Pedobiologia*, 49(1), 81-87.
- Domínguez, J., & Gómez-Brandón, M. (2010). Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el Vermicomposteo. *Acta zoológica mexicana*, 26(SPE. 2), 309-320.
- 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(SPE. 2), 359-371.
- Domínguez, A., Brown, G. G., Sautter, K. D., de Oliveira, C. M. R., de Vasconcelos, E. C., Niva, C. C., ... & Bedano, J. C. (2016). Toxicity of AMPA to the earthworm *Eisenia andrei* Bouché, 1972 in tropical artificial soil. *Scientific Reports*, 6, 19731.
- Domínguez, J., Gómez-Brandón, M., & Lazcano, C. (2010). Propiedades bioinsecticidas del vermicompost. *Acta zoológica mexicana*, 26(SPE. 2), 373-383.
- ESB, 2016. Earthworm Society of Britain. Recuperado de <https://www.earthwormsoc.org.uk/>
- Elías, G. H., Humberto, B. Á., Rodolfo, S. E., Xicotécatl, L. A., Claudia, G. L., & Pablo, S. Á. (2015). Consumo de energía y emisiones de bióxido de carbono del sector

- refinación de petróleo en México de 2015 a 2030. *DE CIENCIA ANIMAL, Investigación y Tecnología*, 16(4), 503-513.
- FAO. (2023a). Datos. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/es/#home>
- FAO. (2023b). Emissions from Livestock. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/en/#data/GLE>
- Fernández-Gómez, M. J., Romero, E., & Nogales, R. (2010). Feasibility of vermicomposting for vegetable greenhouse waste recycling. *Bioresource technology*, 101(24), 9654-9660.
- Fernández-Gómez, M. J., Romero, E., & Nogales, R. (2011). Impact of imidacloprid residues on the development of *Eisenia fetida* during vermicomposting of greenhouse plant waste. *Journal of hazardous materials*, 192(3), 1886-1889.
- Fernández-Luqueño F, Reyes-Varela V, Martínez-Suárez C, et al. Effect of different nitrogen sources on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioresource Technology*. 2010; 101:396-403.
- Fragoso, C., & Rojas, P. (2014). Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta: Crassiclitellata) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 197-207.
- Garg, P., Gupta, A., & Satya, S. (2006). Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia fetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*, 97(3), 391-395. doi:10.1016/j.biortech.2005.03.009
- Gaupp-Berghausen, M., Hofer, M., Rewald, B., & Zaller, J. G. (2015). Glyphosate-based herbicides reduce the activity and reproduction of earthworms and lead to increased soil nutrient concentrations. *Scientific reports*, 5.
- Gerber, P., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., ... & Tempio, G. (2013). Enfrentando el Cambio climático a través de la Ganadería—Una Evaluación Global de las Emisiones y Oportunidades de Mitigación. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO): Roma, Italy.
- Giuffré, L., Romaniuk, R., Ríos, R. P., & Zubillaga, M. M. (2011). Sustainable management in pecan cultivation in Argentina. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 23(3), 243.

- Gómez-Brandón, M., Aira, M., Lores, M., & Domínguez, J. (2011). Changes in microbial community structure and function during vermicomposting of pig slurry. *Bioresource Technology*, 102(5), 4171-4178.
- Gutiérrez-Miceli, F. A., García-Gómez, R. C., Rosales, R. R., Abud-Archila, M., Angela, O. L. M., Cruz, M. J. G., & Dendooven, L. (2008). Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using vermicompost leachate. *Bioresource Technology*, 99(14), 6174-6180.
- Jack, A. L., Rangarajan, A., Culman, S. W., Sooksa-Nguan, T., & Thies, J. E. (2011). Choice of organic amendments in tomato transplants has lasting effects on bacterial rhizosphere communities and crop performance in the field. *Applied soil ecology*, 48(1), 94-101.
- Hendrix, P. F., & Bohlen, P. J. (2002). Exotic Earthworm Invasions in North America: Ecological and Policy Implications Expanding global commerce may be increasing the likelihood of exotic earthworm invasions, which could have negative implications for soil processes, other animal and plant species, and importation of certain pathogens. *Bioscience*, 52(9), 801-811.
- Hodge S, Webster KM, Booth L, O'Halloran HV. 2000. Non-avoidance of organophosphate insecticides by the earthworm *Aporrectodea caliginosa* (lumbricidae). *Soil Biol Biochem* 32:425–428.
- Hu, C. W., Li, M., Cui, Y. B., Li, D. S., Chen, J., & Yang, L. Y. (2010). Toxicological effects of TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles in soil on earthworm *Eisenia fetida*. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(4), 586-591.
- Kamble, M. Y., Kalalbandi, B. M., Kadam, A. R., & Rohidas, S. B. (2015). Effect of organic and inorganic fertilizers on growth, green pod yield and economics of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. HPR-35. *Legume Research-An International Journal*, (OF).
- Keenan, R. J., Reams, G. A., Achard, F., de Freitas, J. V., Grainger, A., & Lindquist, E. (2015). Dynamics of global forest area: results from the FAO global forest resources assessment 2015. *Forest Ecology and Management*, 352, 9-20.

- Lescano, M. R., Masin, C. E., Rodríguez, A. R., Godoy, J. L., & Zalazar, C. S. (2020). Earthworms to improve glyphosate degradation in biobeds. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 27023-27031.
- Li, L., Xu, Z., Wu, J., & Tian, G. (2010). Bioaccumulation of heavy metals in the earthworm *Eisenia fetida* in relation to bioavailable metal concentrations in pig manure. *Bioresource technology*, 101(10), 3430-3436.
- Li, J., Zhang, W., Chen, L., Liang, J., & Lin, K. (2015). Biological effects of decabromodiphenyl ether (BDE209) and Pb on earthworm (*Eisenia fetida*) in a soil system. *Environmental Pollution*, 207, 220-225.
- Li, M., Ma, X., Saleem, M., Wang, X., Sun, L., Yang, Y., & Zhang, Q. (2020). Biochemical response, histopathological change and DNA damage in earthworm (*Eisenia fetida*) exposed to sulfentrazone herbicide. *Ecological Indicators*, 115, 106465.
- López-Espinosa, S. T., Moreno-Reséndez, A., Cano-Ríos, P., Rodríguez-Dimas, N., Robledo-Torres, V., & Márquez-Quiroz, C. (2013). Organic fertilization: An alternative to produce jalapeño pepper under greenhouse conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(9), 666.
- Manh, V. H., & Wang, C. H. (2014). Vermicompost as an Important Component in Substrate: Effects on Seedling Quality and Growth of Muskmelon (*Cucumis Melo* L.). *APCBEE Procedia*, 8, 32-40.
- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Chew-Madinaveitia, Y. I., Moreno-Reséndez, A., & Rodríguez-Dimas, N. (2006). Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2), 183-189.
- Márquez-Quiroz, C., López-Espinosa, S. T., Cano-Ríos, P., & Moreno-Reséndez, A. (2013). Fertilización orgánica: una alternativa para la producción de chile piquín bajo condiciones protegidas. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 19(3), 279-286.
- Masciandaro, G., Peruzzi, E., Doni, S., & Macci, C. (2014). Fertigation with Wastewater and Vermicompost: Soil Biochemical and Agronomic Implications. *Pedosphere*, 24(5), 625-634.



- Moreno Reséndez, A., & Valdés Perezgasga, M. T. (2005). Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica*, 65(1), 26-34.
- Moreno Reséndez, A., Rodríguez Dimas, N., Reyes Carrillo, J. L., Márquez-Quiroz, C., & Reyes González, J. (2014). Comportamiento del chile Húngaro (*Capsicum annuum*) en mezclas de vermicompost-arena bajo condiciones protegidas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(2), 97-111.
- Moreno-Reséndez, A., García-Gutiérrez, L., Cano-Ríos, P., Martínez-Cueto, V., Márquez-Hernández, C., & Rodríguez-Dimas, N. (2014). Desarrollo del cultivo de melón (*Cucumis melo*) con vermicompost bajo condiciones de invernadero. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(2), 163-173.
- Moreno-Reséndez, A., Solís-Morales, G., Blanco-Contreras, E., Vásquez-Arroyo, J., Guzmán-Cedillo, L. M., Rodríguez-Dimas, N., & Figueroa-Viramontes, U. (2014). Desarrollo de plántulas de huizache (*Acacia farnesiana*) en sustratos con vermicompost. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(1), 55-62.
- Moreno-Reséndez, A., Hernández-García, R., Rodríguez-Dimas, N., Reyes-Carrillo, J. L., Márquez-Quiroz, C., & Preciado-Rangel, P. (2015). Development of "Serrano" pepper in vermicompost: perlite substrates under shade net conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(12), 897-902.
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., ... & Magalhaes, M. (2009). Cambio climático: el impacto en la agricultura y los costos de adaptación. IFPRI.
- Nunes, M. E. T., & Espíndola, E. L. G. (2012). Sensitivity of *Eisenia andrei* (Annelida, Oligochaeta) to a commercial formulation of abamectin in avoidance tests with artificial substrate and natural soil under tropical conditions. *Ecotoxicology*, 21(4), 1063-1071.
- Nunes, M. E. T., Daam, M. A., & Espíndola, E. L. G. (2016). Survival, morphology and reproduction of *Eisenia andrei* (Annelida, Oligochaeta) as affected by Vertimec®

- 18 EC (ai abamectin) in tests performed under tropical conditions. *Applied Soil Ecology*, 100, 18-26.
- Oliver, J. H. (1962). A mite parasitic in the cocoons of earthworms. *The Journal of parasitology*, 48(1), 120-123.
- Pochron, S., Simon, L., Mirza, A., Littleton, A., Sahebzada, F., & Yudell, M. (2020). Glyphosate but not Roundup® harms earthworms (*Eisenia fetida*). *Chemosphere*, 241, 125017.
- Porto, p. G., Velando, a., & Domínguez, j. (2012). Multiple mating increases cocoon hatching success in the earthworm *Eisenia andrei* (oligochaeta: Lumbricidae): effects of multiple mating on *E. andrei* reproduction. *Biological Journal of the Linnean Society*, , no-no. doi:10.1111/j.1095-8312.2012.01913.x
- Owojori, O. J., Waszak, K., & Roembke, J. (2014). Avoidance and reproduction tests with the predatory mite *Hypoaspis aculeifer*: effects of different chemical substances. *Environmental toxicology and chemistry*, 33(1), 230-237.
- Ramnarain, Y. I., Ansari, A. A., & Ori, L. (2019). Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(1), 23-36.
- Reinecke A.J. & J.R. Kriel (1981) Influence of temperature on the reproduction of the earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta), *South African Journal of Zoology*, 16:2, 96-100, DOI: 10.1080/02541858.1981.11447740
- Reyes-Pérez, J. J., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., Reynaldo-Escobar, I. M., Rueda-Puente, E. O., & Guridi-Izquierdo, F. (2014). Humatos de vermicompost como mitigador de la salinidad en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(2), 149-162.
- Reynolds, J. W. (1994). Earthworms of the world. *Global Biodiversity*, 4(1), 11-16.
- Rodríguez-Dimas, N., Cano-Ríos, P., Favela-Chávez, E., Figueroa-Viramontes, U., Paul-Álvarez, V. D. P., Palomo-Gil, A., ... & Moreno-Reséndez, A. (2007). Vermicompost como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2), 185-192.

- Roy, S., Arunachalam, K., Dutta, B. K., & Arunachalam, A. (2010). Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. Zea mays, Phaseolus vulgaris and Abelmoschus esculentus. *Applied soil ecology*, 45(2), 78-84.
- Roux, S., Baker, P., & Crouch, A, 2016. Bioaccumulation of total mercury in the earthworm *Eisenia andrei*. *SpringerPlus*, 1-14.
- Singh, R., Gupta, R. K., Patil, R. T., Sharma, R. R., Asrey, R., Kumar, A., & Jangra, K. K. (2010). Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*, 124(1), 34-39.
- Singh, J., & Kaur, A. (2015). Vermicompost as a strong buffer and natural adsorbent for reducing transition metals, BOD, COD from industrial effluent. *Ecological Engineering*, 74, 13-19.
- Sloan, S., & Sayer, J. A. (2015). Forest Resources Assessment of 2015 shows positive global trends but forest loss and degradation persist in poor tropical countries. *Forest Ecology and Management*, 352, 134-145.
- Smith, L. G., Williams, A. G., & Pearce, B. D. (2015). The energy efficiency of organic agriculture: A review. *Renewable agriculture and Food systems*, 30(03), 280-301.
- Song, X., Liu, M., Wu, D., Qi, L., Ye, C., Jiao, J., & Hu, F. (2014). Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues. *Waste Management*, 34(11), 1977-1983.
- Suthar, S. (2009). Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *eisenia fetida*: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. *Ecological Engineering*, 35(5), 914-920. doi:10.1016/j.ecoleng.2008.12.019
- Suthar, S., & Gairola, S. (2014). Nutrient recovery from urban forest leaf litter waste solids using *eisenia fetida*. *Ecological Engineering*, 71, 660-666. doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.08.010
- Tang, H., Yan, Q., Wang, X., Ai, X., Robin, P., Matthew, C.. . Li, Y. (2014). Earthworm (*eisenia fetida*) behavioral and respiration responses to sublethal mercury

- concentrations in an artificial soil substrate. *Applied Soil Ecology*, doi: 10.1016/j.apsoil.2015.12.008
- Tejada, M., Gonzalez, J. L., Hernandez, M. T., & Garcia, C. (2008). Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes. *Bioresource technology*, 99(14), 6228-6232.
- Valdez-Pérez, M. A., Fernández-Luqueño, F., Franco-Hernandez, O., Flores Cotera, L. B., & Dendooven, L. (2011). Cultivation of beans ( *phaseolus vulgaris* L.) in limed or unlimed wastewater sludge, vermicompost or inorganic amended soil. *Scientia Horticulturae*, 128(4), 380-387. doi:10.1016/j.scienta.2011.01.016
- Velki, M., & Hackenberger, B. K. (2013). Inhibition and recovery of molecular biomarkers of earthworm *eisenia andrei* after exposure to organophosphate dimethoate. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 100-108. doi:10.1016/j.soilbio.2012.09.018
- Wang, Q., Wang, Y., Cang, T., Zhao, X., Yu, R., Chen, L., & Wu, C. (2012). Comparative acute toxicity of twenty-four insecticides to earthworm, *eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 79, 122-128. doi:10.1016/j.ecoenv.2011.12.016
- Wang, K., Radovich, T., Pant, A., & Cheng, Z. (2014). Integration of cover crops and vermicompost tea for soil and plant health management in a short-term vegetable cropping system. *Applied Soil Ecology*, 82, 26-37. doi:10.1016/j.apsoil.2014.05.003
- Wang, K., Mu, X., Qi, S., Chai, T., Pang, S., Yang, Y.. . Jiang, J. (2015). Toxicity of a neonicotinoid insecticide, guadipyr, in earthworm (*eisenia fetida*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 114, 17-22. doi:10.1016/j.ecoenv.2014.12.037
- Wang, H., Zhang, X., Wang, L., Zhu, B., Guo, W., Liu, W., & Wang, J. (2020). Biochemical responses and DNA damage induced by herbicide QYR301 in earthworm (*Eisenia fetida*). *Chemosphere*, 244, 125512.
- Xiao, Z., Liu, M., Jiang, L., Chen, X., Griffiths, B. S., Li, H., & Hu, F. (2016). Vermicompost increases defense against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in tomato plants. *Applied Soil Ecology*, 105, 177-186.

- Yadav, A., & Garg, V. K. (2011). Recycling of organic wastes by employing *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology*, 102(3), 2874-2880. doi:10.1016/j.biortech.2010.10.083
- Zaller, J. G. (2007). Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae*, 112(2), 191-199.
- Zaller, J. G., Heigl, F., Ruess, L., & Grabmaier, A. (2014). Glyphosate herbicide affects belowground interactions between earthworms and symbiotic mycorrhizal fungi in a model ecosystem. *Scientific reports*, 4.
- Zhang, W., Liu, K., Chen, L., Lin, K., & Fu, R. (2014). A multi-biomarker risk assessment of the impact of brominated flame retardant-decabromodiphenyl ether (BDE209) on the antioxidant system of earthworm *Eisenia fetida*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 38(1), 297-304. doi:10.1016/j.etap.2014.06.007
- Ferruzi, Carlos. *Manual de lombricultura*. Ciencias Agronómicas. Ediciones Mundi-Prensa, 2007.
- Morales Narvaez C.J. (2016). Sostenibilidad económica y ambiental de la producción mecanizada de lombricompost empleando residuos vegetales. Biblioteca Digital-Dirección de Sistemas de Informática y Comunicación. Deserción de Tesis. Universidad Nacional de Trujillo. 2016. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bd197b77-664c-4a87-b7c2-12044efae80d/content>
- Durán L. y Henríquez C. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostas producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*. 31, 41-51.
- Vielma R.R.A y Medina A.L. (2006). Determinación de la composición química y estudios de solubilidad de la harina de lombriz *E. foetida*. *Revista de la Facultad de Farmacia*. 48, 2-8.