

# **Tratamiento de residuos orgánicos mediante vermicompostaje: Interacciones lombriz-microorganismo y aplicaciones biotecnológicas del vermicompost**

Trabajo de Fin de Grado

**Araceli Pradas Paredes**

Tutorizado por Fernando Perestelo Rodríguez y Samuel  
Rodríguez Martín

Grado en Biología. Septiembre 2020

# ÍNDICE

*Resumen / Abstract*

1. *Introducción*

1.1. *Los residuos orgánicos: Gestión, eliminación y problemática actual*

1.2. *Los sistemas de compostaje*

1.3. *El vermicompostaje: Una alternativa viable frente a los sistemas de compostaje convencionales*

2. *Objetivos*

3. *Los sistemas de vermicompostaje: Interacciones lombriz-microorganismo*

3.1. *El proceso de vermicompostaje*

3.2. *La higienización del vermicompost*

3.3. *Características del producto final: el vermicompost*

3.4. *Fisiología de la lombriz y su papel en el proceso de vermicompostaje*

3.5. *La microbiota asociada a la lombriz y su participación en la elaboración de vermicompost*

3.6. *Comunidades microbianas principales presentes en el vermicompost*

4. *Aplicaciones biotecnológicas del vermicompost*

4.1. *Papel del vermicompost en la fertilidad del suelo*

4.2. *Papel de las bacterias del vermicompost en la gestión de residuos biomédicos*

4.3. *Papel del vermicompost en la producción de crecimiento vegetal*

4.4. *Papel del vermicompost en el manejo de enfermedades de plantas*

4.5. *Papel del vermicompost en el control de plagas de artrópodos*

4.6. *Papel del vermicompost en el control de nematodos*

5. *Conclusiones / Conclusions*

6. *Bibliografía*

## ***Resumen***

Desde mediados del siglo pasado, el crecimiento demográfico se ha triplicado debido a las mejoras alcanzadas en la alimentación, sanidad y desarrollo tecnológico. El consiguiente desarrollo urbanístico e industrialización han conducido a un mayor consumo de bienes y servicios, lo que ha resultado en un incremento de desechos orgánicos derivados de los hogares, industrias y agricultura. Muchos de estos desechos contienen microorganismos patógenos por lo que, su gestión, se ha convertido en uno de los problemas ambientales y de salud pública más importantes en la actualidad.

Actualmente, se dispone de diferentes estrategias para el tratamiento de estos residuos, como el relleno de tierras, incineración, conversión en biogás, reciclaje y compostaje. Sin embargo, como consecuencia de su superproducción, se han permitido prácticas agrícolas inapropiadas que pueden conducir a la contaminación, no sólo del suelo sino, también, de aguas subterráneas. Los procesos de compostaje y vermicompostaje pueden reducir sustancialmente este problema, transformando los residuos en materiales estabilizados y seguros para aplicar al suelo. Comparado con el sistema de compostaje tradicional, el vermicompostaje (basado en el uso de lombrices de tierra como agentes biológicos) ofrece, entre otras ventajas, una reducción de la masa, un tiempo de procesamiento más corto, estimula la actividad microbiana, aumenta la disponibilidad de nutrientes y altos niveles de humus con reducida fitotoxicidad en el producto final.

En el presente trabajo se analizan los fundamentos del vermicompostaje como estrategia alternativa para el tratamiento de residuos orgánicos, sus ventajas como biofertilizante en un contexto de agricultura sostenible, así como otras potenciales aplicaciones biotecnológicas.

***Palabras clave:*** residuos, vermicompostaje, vermicompost, microorganismos.

## ***Abstract***

Since the middle of the last century, population growth has tripled due to improvements in food, health and technological development. The consequent urban development and industrialization have led to a greater consumption of goods and services, which has resulted in an increase in organic waste derived from homes, industries and agriculture. Many of these wastes contain pathogenic microorganisms, which is why their management has become one of the most important environmental and public health problems today.

Nowadays, there are different strategies available to treat these residues, such as land fill, incineration, conversion to biogas, recycling and composting. Nevertheless, as a consequence of its overproduction, inappropriate agricultural practices have been allowed, which can lead to contamination, not only of the soil but also of groundwater. Composting and vermicomposting processes can substantially reduce this problem, transforming the waste into stabilized and safe materials to apply to the soil. Compared with the traditional composting system, the vermicomposting (based on the use of earthworms as biological agents) offers, among other advantages, a reduction in mass, a shorter processing time, stimulates microbial activity, increases availability of nutrients and high levels of humus with reduced phytotoxicity in the final product.

In this work, the fundamentals of vermicomposting as an alternative strategy for the treatment of organic waste, its advantages as a biofertilizer in a context of sustainable agriculture, as well as other potential biotechnological applications are analyzed.

***Key words:*** wastes, vermicomposting, vermicompost, microorganisms.

# ***1. Introducción***

## ***1.1. Los residuos orgánicos: Gestión, eliminación y problemática actual***

A lo largo de la historia, desde que la humanidad cambió su estilo de vida nómada por el sedentarismo, la producción y liberación de residuos ha aumentado de manera considerable, hasta el punto en que muchos de estos desechos se han acumulado con el paso de las generaciones. Asimismo, la llegada del desarrollo industrial, las actividades agrícolas y ganaderas intensivas, así como la demanda de una población mundial en crecimiento continuo, ha generado multitud de problemas e inconvenientes por la acumulación de cantidades ingentes de residuos: ocupación de espacios; deterioro del paisaje; contaminación del suelo, agua y aire; malos olores; enfermedades o muerte de seres vivos; inversiones económicas elevadas para mantener y gestionar los residuos, descontaminar y restaurar los espacios utilizados. Teniendo en cuenta el impacto medioambiental, económico y social, la necesidad de mejorar y optimizar los sistemas de gestión y tratamiento de residuos, así como la aplicación de estrategias alternativas eficaces, se ha convertido en uno de los grandes retos de la sociedad contemporánea (Chávez y González, 2016; Lucifero, 2016; Slorach *et al.*, 2019).

Según el artículo 3.1 de la directiva 2008/98/CE, se denomina residuo a “cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse”, y, teniendo en cuenta su procedencia, estos se clasifican en: residuos urbanos; residuos generados en la industria; residuos generados en los servicios; y residuos generados en la construcción. Dentro del grupo de los residuos urbanos, se encuentran los desechos orgánicos, el papel, el vidrio, el cartón, los envases mixtos, etc., que, según los datos recopilados por el Instituto Nacional de Estadística, en 2016, la cantidad total de este tipo de residuos recogidos en España fue de 21,9 millones de toneladas, de los cuales el 34,2% fueron tratados mediante su reciclaje. Cabe destacar que una parte importante de los residuos urbanos son desechos biodegradables, siendo estos clasificados, a su vez, en materia orgánica mezclada con basura en masa, restos de comida, restos de jardín, papel, productos textiles y madera, tal y como establece la Unión Europea. En cuanto a la gestión y eliminación de estos residuos, actualmente se emplean diferentes tratamientos dependiendo de la finalidad, entre los que destacan el reciclaje, la reutilización, la incineración, el compostaje, la digestión anaerobia, la pirólisis o la gasificación, según los datos registrados en el Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos (PTEOR).

Generalmente, los métodos más usados para el tratamiento de los desechos biológicos son la digestión anaeróbica y el compostaje. En España, concretamente, se están tomando medidas y acciones para promover la integración generalizada de sistemas de compostaje que, además

de usar residuos urbanos como sustrato de partida, utilicen también los restos de agricultura y ganadería. Por una parte, los residuos ganaderos son enviados a una planta de gestión, donde son sometidos, en primer lugar, a un proceso de digestión anaerobia, en el que la materia orgánica es metabolizada a biogás (metano y CO<sub>2</sub>). Este tratamiento inicial permite que la materia orgánica se estabilice, pero no consigue degradar polímeros vegetales como la celulosa o la lignina, por lo que es necesaria una etapa posterior de compostaje. Por otro lado, los principales residuos agrícolas generados son los cereales (como paja y rastrojos), vegetales verdes (como plantas forrajeras), raíces o tubérculos de cultivo extensivo, cultivos hortícolas, y, por último, restos de poda de viñas y frutales. Los desechos hortícolas, debido a su baja relación C/N y su alto contenido hídrico, pueden añadirse directamente al suelo, ya que se descomponen con facilidad en un período aproximado de un año, o bien, pueden destinarse a la elaboración de compost. Por otro lado, los residuos forrajeros se reutilizan para la alimentación del ganado, al igual que los restos de cereales, aunque estos últimos suelen emplearse como agentes de aireación y fuente de carbono para el compostaje de residuos excesivamente ricos en nitrógeno, dado que presentan baja humedad, alto contenido en celulosa y elevada relación C/N (entre 80-100) (PTEOR).

Sin embargo, en lo que a la gestión de residuos orgánicos se refiere, el mayor reto a nivel mundial es el aprovechamiento y tratamiento eficaz de los restos alimentarios, que incluyen desde las pérdidas en la producción primaria (ganadería, agricultura y pesca) hasta las pérdidas durante el procesamiento y tras el consumo de alimentos. A este respecto, la FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) estima que un tercio de la comida destinada al consumo se desecha, de forma que cada año se generan un total de 1,3 billones de toneladas de residuos alimentarios. Como se ha mencionado anteriormente, existen varias estrategias para el aprovechamiento de estos desechos: la primera opción sería reciclarlos o reutilizarlos como, por ejemplo, alimento de ganado; en segundo lugar, pueden ser enviados a una planta de compostaje (o a digestores anaerobios); y, por último, la materia no aprovechable puede eliminarse mediante incineración o ser depositada en vertederos (Banks *et al.*, 2018).

## **1.2. Los sistemas de compostaje**

Como se ha descrito anteriormente, muchos de los residuos orgánicos biodegradables, como es el caso de los desechos agrícolas, son sometidos a diferentes mecanismos de tratamiento y eliminación, siendo el compostaje uno de los procedimientos a los que se recurre con mayor frecuencia por su eficacia en la erradicación y el aprovechamiento de este tipo de residuos (Sánchez *et al.*, 2017). Los primeros sistemas de compostaje fueron desarrollados en India, China, Malasia y otros países orientales como método de tratamiento sanitario de residuos

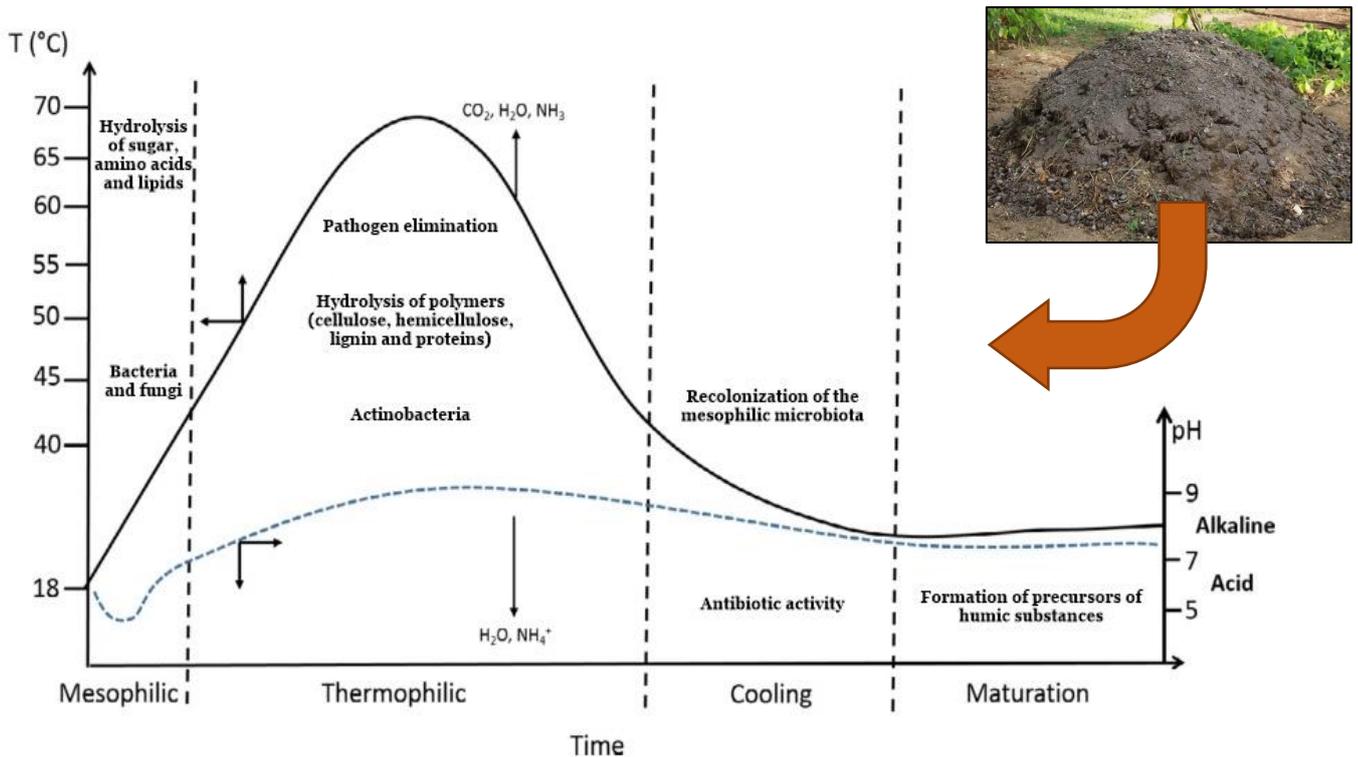
sólidos urbanos, y, a partir de estas aplicaciones, las técnicas de elaboración de compost se han ido perfeccionando hasta lo que conocemos hoy en día (Díaz y Bertoldi, 2007). Se denomina compostaje al proceso de degradación biológica llevado a cabo por diferentes comunidades microbianas que transforman, en condiciones aerobias, unos sustratos orgánicos sólidos en un producto final humificado y estable, libre de patógenos, que es adecuado para su aplicación en suelos, mejorando sus características físico-químicas y su fertilidad, entre otras (Villar *et al.*, 2016; Sánchez *et al.*, 2017; Azim *et al.*, 2018). Cabe destacar que, durante el proceso de compostaje, intervienen múltiples factores, tanto bióticos como abióticos, que afectan al producto final o compost, como son la concentración de oxígeno, el grado de humedad, la formulación y composición del material de partida, el pH o la temperatura (Partenen *et al.*, 2010). En términos generales, el compostaje convencional o termófilo se basa en la sucesión de 4 etapas principales durante las cuales intervienen diferentes poblaciones microbianas, y finaliza con la obtención del compost, cuya calidad depende del grado de madurez y estabilidad de mismo (Ryckeboer *et al.*, 2003; Insam y Bertoldi, 2007; Villar *et al.*, 2016; Sánchez *et al.*, 2017; Azim *et al.*, 2018). Las fases que se desarrollan durante un proceso de compostaje (**Figura 1**) son las siguientes:

1º) **Fase mesófila**: En esta primera etapa se inicia la descomposición de los sustratos fácilmente degradables, como azúcares y péptidos, por la acción de las bacterias y los hongos presentes en los residuos orgánicos. Este incremento del metabolismo microbiano aumenta la temperatura de la pila, que puede llegar hasta los 45°C, temperatura a la cual finaliza la fase mesófila.

2º) **Fase termófila**: Como consecuencia de la actividad metabólica, la temperatura de la pila de compost continúa ascendiendo hasta alcanzar los 65°C, momento en el que las poblaciones mesófilas (como los hongos) son sustituidas progresivamente por comunidades microbianas termófilas (bacterias y actinomicetos termófilos). Durante esta fase tiene lugar la degradación de polímeros vegetales complejos, como la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. Además, esta fase es importante en el proceso de compostaje puesto que se produce la higienización del compost, es decir, la eliminación de fitopatógenos y patógenos humanos, así como la muerte de larvas de insectos.

3º) **Fase de enfriamiento o mesófila**: Una vez se han descompuesto la mayoría de los sustratos presentes durante la fase termófila, la temperatura del compost desciende y las comunidades mesófilas vuelven a colonizar la pila.

4°) **Fase de maduración:** Por último, la materia orgánica resultante de las etapas previas se estabiliza dando lugar al humus, producto que se destinará a los suelos agrícolas.



**Figura 1:** Sucesión de las distintas fases que se desarrollan durante el proceso de compostaje en una pila de compost termófilo, así como las variaciones de temperatura y pH dentro de la pila (Sánchez *et al.*, 2017).

### 1.3. **El vermicompostaje: Una alternativa viable frente a los sistemas de compostaje convencionales**

A lo largo de las últimas décadas, y debido a la gestión ineficaz de residuos urbanos (principalmente, residuos alimentarios comerciales o domésticos) y a su consecuente acumulación, los sistemas de compostaje han evolucionado y han adaptado técnicas y prácticas basadas en la tecnología verde o sostenible, lo que ha permitido aprovechar este tipo de desechos orgánicos de una forma mucho más eficiente y ecológica, siendo el vermicompostaje uno de los sistemas de compostaje que más se ha impulsado en la actualidad. El vermicompostaje, también denominado lombricompostaje, se basa en la descomposición de la materia orgánica presente en los residuos, bajo condiciones mesófilas, por la acción combinada de las lombrices de tierra y los microorganismos (Singh *et al.*, 2013; Medina-Sauza *et al.*, 2019; Olle, 2019; Singh *et al.*, 2020). Este creciente interés por los sistemas de vermicompostaje se debe a las ventajas que ofrecen frente al compostaje termófilo: se ha observado que, durante el tratamiento de residuos alimentarios, los procesos de vermicompostaje reducen

significativamente el contenido de compuestos orgánicos biodegradables, lo que genera un producto final mucho más estable; además, la liberación de CO<sub>2</sub> es mucho menor que en el compostaje convencional, probando que el vermicompostaje es un proceso más ecológico (Singh *et al.*, 2013). Asimismo, y a diferencia del compost tradicional, la presencia de las lombrices en el vermicompost mejora las propiedades del suelo tratado, aumentando su porosidad y la retención de agua, mejorando su estructura, etc., lo que permite, no solamente incrementar la productividad y fertilidad de suelos destinados a fines agrícolas, sino también recuperar suelos extremadamente deteriorados (Medina-Sauza *et al.*, 2019; Olle, 2019; Singh *et al.*, 2020).

## **2. Objetivos**

A tenor de lo anteriormente expuesto, y teniendo en cuenta la necesidad de desarrollar estrategias eficaces y ecológicas para la eliminación de residuos y evitar el impacto ambiental generado, durante la última década, el estudio de sistemas de vermicompostaje y de las comunidades microbianas implicadas ha cobrado gran interés en la comunidad científica y en entidades centradas en la gestión de residuos y el desarrollo sostenible. Debido a este hecho, en el presente trabajo se han propuesto los siguientes objetivos:

- *Elaborar un análisis breve y actual sobre el proceso de vermicompostaje y las implicaciones de las interacciones lombriz-microorganismo en la generación de vermicompost.*
- *Analizar las características físico-químicas del vermicompost y las comunidades microbianas presentes en el mismo.*
- *Analizar las aplicaciones biotecnológicas del vermicompost.*

### ***3. Los sistemas de vermicompostaje: Interacciones lombriz-microorganismo***

Como se ha mencionado en el *Apartado 1.3*, el vermicompostaje se trata de un proceso de biodegradación, llevado a cabo por la actividad conjunta de lombrices de tierra y de la microbiota asociada a estos animales, en el que las propiedades físicas y bioquímicas de la materia orgánica presente en los sustratos de partida sufren numerosas modificaciones hasta que logra estabilizarse, generando, en última instancia, el vermicompost (Domínguez, 2004; Singh *et al.*, 2013; Medina-Sauza *et al.*, 2019; Olle, 2019; Singh *et al.*, 2020). Si bien los microorganismos son los principales responsables de la biodegradación de la materia orgánica, las lombrices se consideran agentes indispensables en el proceso puesto que fragmentan y acondicionan el sustrato, favoreciendo la actividad microbiana (Olle, 2019). Este sistema de tratamiento de residuos orgánicos ha ganado especial relevancia en los últimos años, debido, en gran medida, a su bajo costo y a las grandes cantidades de materia orgánica que es capaz de procesar en períodos de tiempo reducidos (varios meses, dependiendo del tipo de sustrato). Asimismo, entre los residuos orgánicos que se emplean con mayor frecuencia en la producción de vermicompost destacan los lodos de depuradora, los desechos procedentes de la industria, los residuos urbanos, los residuos alimentarios, los residuos animales y los residuos hortícolas (Gómez-Brandón y Domínguez, 2014). Cabe destacar que, a diferencia del compostaje tradicional o termófilo, el vermicompostaje genera un producto con alto contenido en humus en un tiempo menor, con una toxicidad fitosanitaria menor, se obtiene un producto de mayor valor y, además, queda un producto extra (las lombrices) que se pueden destinar a otros usos (Atiyeh *et al.*, 2000a; Garg y Gupta, 2009).

#### ***3.1. El proceso de vermicompostaje***

El desarrollo del proceso depende, en gran medida, de la especie de lombriz empleada y del tipo de materia prima que se va a procesar. A este respecto, hay que tener en cuenta que no todas las especies de lombriz actúan de la misma manera frente a diferentes sustratos, pudiendo ser el rendimiento mayor o menor (Santamaría-Romero y Ferrera-Cerrato, 2002). Entre los sustratos empleados en la elaboración de vermicompost destacan los de origen animal (estiércoles de vaca, patos, caballos, cerdos, aves de corral, conejo), vegetal (restos de poda, restos de pastos) y los residuos urbanos de tipo orgánico (biosólidos y desperdicios de restaurantes y supermercados) (Castillo *et al.*, 2000; Gunady y Edwards, 2003; Moreno, 2005).

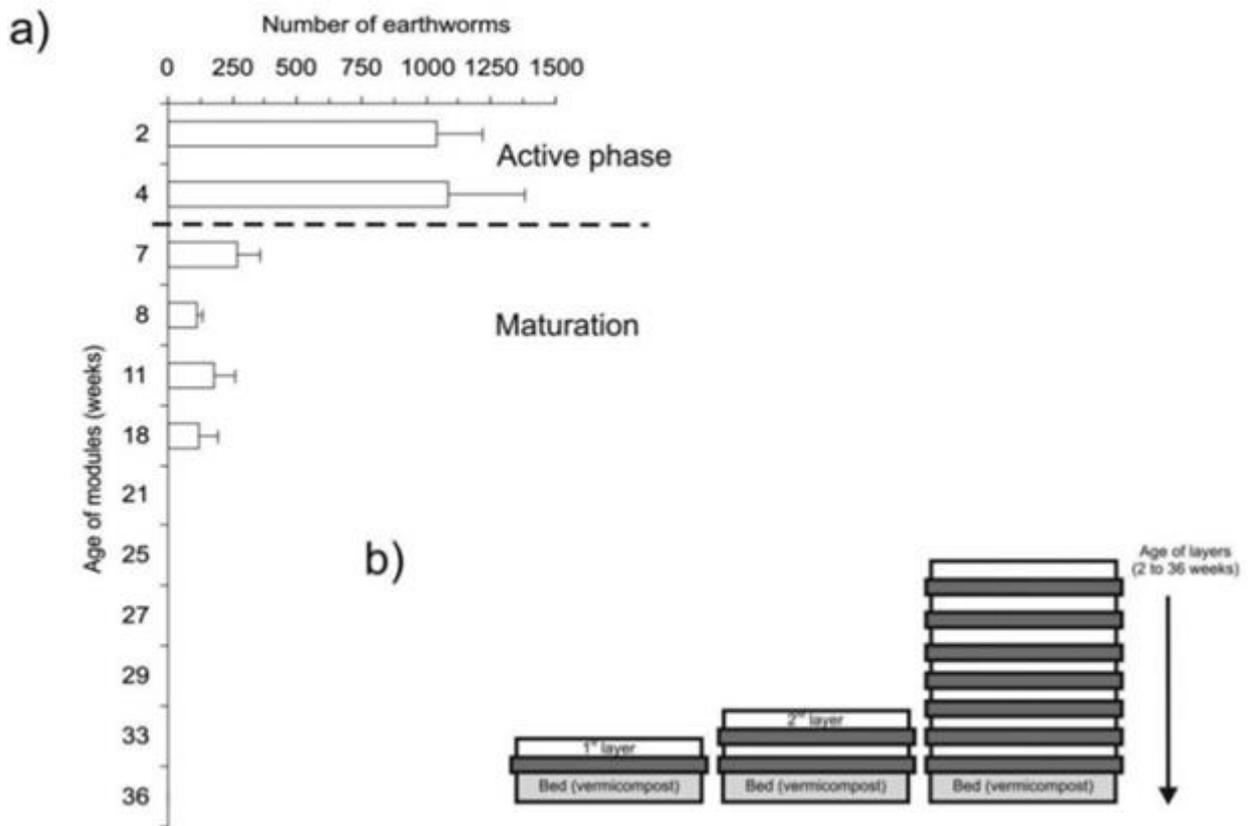
A diferencia del compostaje termófilo, todo el proceso de vermicompostaje se lleva a cabo en condiciones mesófilas, es decir, con temperaturas óptimas entre los 35 y los 45°C, de modo

que no se observan cambios de temperatura significativos entre una fase y otra. El proceso de vermicompostaje se puede resumir en las siguientes etapas (Arita *et al.*, 2007; Garg y Gupta, 2009; Domínguez *et al.*, 2010; Gómez-Brandón *et al.*, 2011; Pathma y Sakthivel, 2012; Gómez-Brandón y Domínguez, 2014; Olle, 2019):

1°) **Fase de pre-compostaje inicial:** Dada la naturaleza detritívora de las lombrices y, antes de su incorporación al sistema de vermicompostaje, es necesario que los residuos orgánicos aportados inicialmente sufran una etapa previa de biodegradación. Esta fase dura aproximadamente unos 15 días y, en el transcurso de la misma, se descomponen los compuestos más fácilmente degradables, así como las sustancias volátiles, siendo estas últimas tóxicas para las lombrices.

1°) **Fase activa o mesófila:** Una vez el material de partida adquiere un alto grado de descomposición, ya puede ser procesado mecánicamente y posteriormente ingerido por las lombrices (**Figura 2.a**). La materia orgánica triturada pasa a lo largo del tubo digestivo de la lombriz, de forma que las enzimas digestivas secretadas y la microbiota asociada pueden actuar y continuar la descomposición de la misma.

2°) **Fase de maduración:** Este material parcialmente digerido, denominado *vermicast*, es excretado al medio externo, donde será sometido, durante un período de tiempo variable, a un proceso de maduración y estabilización por la actividad microbiana, siendo el vermicompost el producto final. Durante esta transformación es fundamental que los niveles de nutrientes presentes en el *vermicast* sean reducidos considerablemente, ya que las concentraciones son tan elevadas que pueden ser nocivas para los cultivos que vayan a ser tratados con vermicompost. Asimismo, cuando se alcanza la fase de maduración, las lombrices migran hacia las capas superiores más frescas de la vermicompostadora, donde se encuentra la materia orgánica recién suministrada, iniciando de nuevo el proceso (**Figura 2.b**).



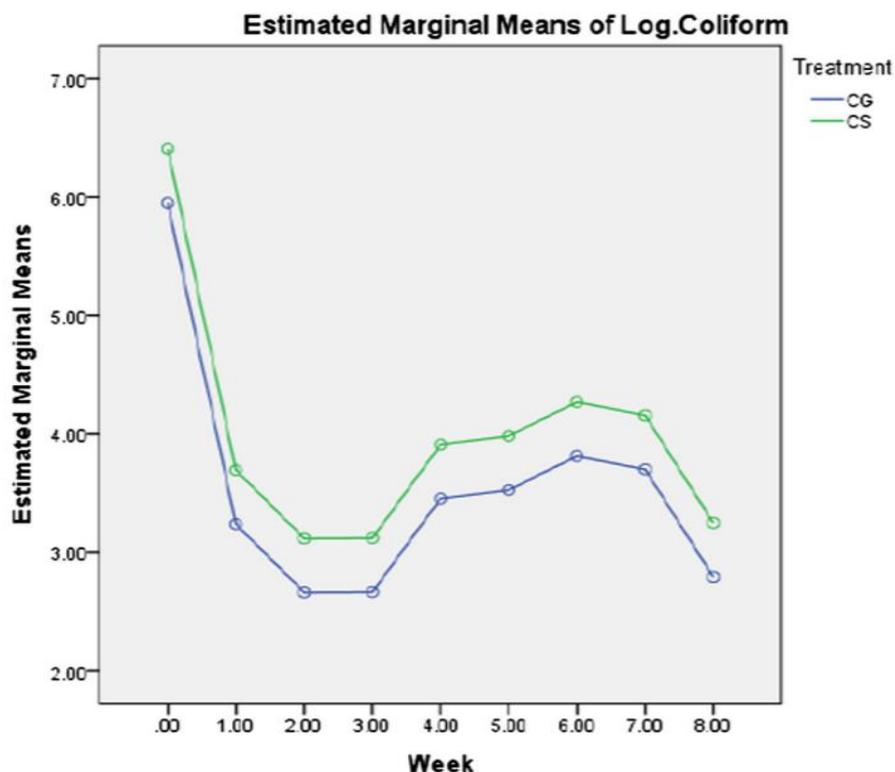
**Figura 2:** Desplazamiento de las lombrices durante el proceso de vermicompostaje (Gómez-Brandón y Domínguez, 2014). a) Variaciones en el número de lombrices durante las fases activa y de maduración. b) Representación de una vermicompostadora con múltiples capas de diferente edad: A medida que toda la materia orgánica es convertida en vermicompost, las lombrices se desplazan hacia los estratos superiores donde se ha aportado nueva materia orgánica.

### 3.2. La higienización del vermicompost

La presencia de patógenos en los residuos orgánicos, utilizados como materia de partida en los procesos de compostaje, puede causar problemas de salud y enfermedades en humanos, por lo que su eliminación de los residuos procesados es crucial para evitar la contaminación de suelos y aguas. Como ya se ha indicado, en el compostaje convencional la temperatura que se alcanza en la fase termofílica es lo suficientemente alta como para eliminar la mayoría de los patógenos. En este sentido, la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) establece que la higienización del compost se consigue si, en el proceso de compostaje, se mantienen temperaturas superiores a 55°C de forma sostenida durante, al menos, 72 horas.

Teniendo esto en cuenta, la eliminación de patógenos durante el vermicompostaje ha sido un asunto controvertido en el pasado, ya que se trata de un proceso mesofílico, con una temperatura media de 35°C (Edwards *et al.*, 2010). Sin embargo, en la última década se han

llevado a cabo estudios que indican que el vermicompostaje, al igual que el compostaje convencional, reduce las poblaciones de patógenos a un nivel seguro. De acuerdo con Karimi *et al.* (2017), el vermicompostaje realizado con estiércol de vaca mezclado con residuos orgánicos o con lodos de depuradora, reduce los coliformes de forma significativa sin necesidad de que la temperatura se incremente durante el proceso (**Figura 3**). Resultados similares han sido descritos por otros autores durante el vermicompostaje de estiércol de vaca (Contreras-Ramos *et al.*, 2005; Aria *et al.*, 2011) y residuos sólidos municipales (Soobhany, 2018). De acuerdo con este último trabajo, la presencia de *E. coli* se redujo hasta niveles indetectables en el producto final, que estaba igualmente libre de *Salmonella sp.* Por otra parte, la efectividad del vermicompostaje para eliminar huevos de nematodos parásitos del género *Ascaris* ha sido descrita por Hill *et al.* (2013). La eliminación de patógenos en el proceso de vermicompostaje depende de diferentes factores, como las enzimas intestinales de las lombrices, la secreción del moco (que tiene propiedades antibacterianas), así como la competencia entre diferentes grupos de microorganismos (Edwards *et al.*, 2010). De acuerdo con Hénault-Ethier (2016), la comunidad microbiana tiene un efecto de control mucho mayor que la lombriz en sí misma, aunque esta actúa favoreciendo el desarrollo de las poblaciones microbianas.



**Figura 3:** Reducción en el número de bacterias coliformes durante el proceso de vermicompostaje de estiércol de vaca + residuos orgánicos (CG) y estiércol de vaca + lodos de depuradora (CS) (Karimi *et al.*, 2017).

### 3.3. Características del producto final: el vermicompost

La composición química del vermicompost es similar a la turba, de forma que contiene una concentración notable de nutrientes asimilables por las plantas, como son el calcio, los nitratos, los fosfatos, el magnesio, el potasio, etc. (**Tabla 1**). Por otro lado, el vermicompost reúne una serie de propiedades físicas y químicas que aportan mejoras notables en la estructura y la fertilidad de los suelos, como son una buena porosidad, la capacidad de retención de agua, la aireación, un pH neutro y una elevada capacidad de intercambio catiónico. Asimismo, este incremento en la productividad agrícola de los suelos tratados con vermicompost se debe, en gran medida, a la actuación de las comunidades microbianas presentes en el mismo: estos microorganismos promueven el crecimiento de las plantas y la germinación de semillas mediante la liberación de citoquinas, auxinas y sustancias húmicas; también presentan una actividad antibiótica significativa, lo que previene la aparición de diversas enfermedades fitosanitarias (Eatsman, 1999; Atiyeh *et al.*, 2000a; Castillo *et al.*, 2000; Pereira y Zezzi-arruda, 2003; Moreno, 2005).

**Tabla 1:** Composición química del vermicompost (Garg y Gupta, 2009).

<b>Nutrientes</b>	<b>Valor</b>
Carbón Orgánico %	9,15 a 17,88
Nitrógeno total %	0,5 a 0,9
Fosforo %	0,1 a 0,26
Potasio %	0,15 a 0,256
Sodio %	0,055 a 0,3
Calcio y magnesio (Meq/100g)	22,67 a 47,6
Cobre (mg Kg <sup>-1</sup> )	2,0 a 9,5
Hierro (mg Kg <sup>-1</sup> )	2,0 a 9,3
Zinc (mg Kg <sup>-1</sup> )	5,7 a 9,3
Azufre (mg Kg <sup>-1</sup> )	128,0 a 548,0

### **3.4. Fisiología de la lombriz y su papel en el proceso de vermicompostaje**

Las lombrices de tierra (familia *Lumbricidae*) son anélidos oligoquetos del orden *Crassiclitellata*. Actualmente, se han descrito más de 8.000 especies de oligoquetos, de los cuales la mitad son lombrices de tierra (Reynolds y Wetzel, 2016). Pueden ingerir hasta el 90% de su peso al día, excretando el 60% en forma de humus (Hickman *et al.*, 1998). Teniendo esto en cuenta, las lombrices de tierra se consideran reactores naturales ya que mejoran la estructura del suelo al ingerir partículas y hojarasca (Katheem *et al.*, 2014). Asimismo, otra característica destacable de estos oligoquetos es la producción de grandes cantidades de moco, rico en

carbohidratos y sustancias similares a proteínas, que envuelve y lubrica la cutícula de la lombriz, evitando daños por rozamiento y facilitando su desplazamiento a través del suelo. Sin embargo, varios autores señalan que esta secreción mucosa no solo ayuda a la movilidad de la lombriz, sino que también posee numerosas propiedades que mejoran la productividad del suelo y favorecen la descomposición de la materia orgánica: sirve como fuente de nutrientes para las plantas; acelera la mineralización y la humificación; modifica la estructura de la población bacteriana, por ejemplo, aumentando la abundancia de proteobacterias y disminuyendo la de firmicutes, etc. (Zhang *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2016; Huang y Xia, 2017). Las lombrices son capaces de movilizar y reciclar la materia orgánica presente en el suelo, incluidas proteínas complejas y compuestos fenólicos; además, estimulan y aumentan la actividad biológica del suelo mediante la ingestión y fragmentación de la materia orgánica presente en el mismo, lo que proporciona una mayor superficie de contacto para los microorganismos (Lavelle, 1998; Katheem *et al.* 2014). El paso del sustrato a través del aparato digestivo de la lombriz implica, primero, una acción mecánica que comienza con el proceso de ingestión en el extremo anterior, seguido de su transporte a través del sistema digestivo hasta el intestino, en el que tiene lugar la digestión. Este proceso implica la secreción de varias enzimas y moco dentro del intestino, y culmina con la digestión y descomposición de los sustratos ingeridos directamente o con ayuda de microorganismos residentes en el intestino (Sinha, 2009).

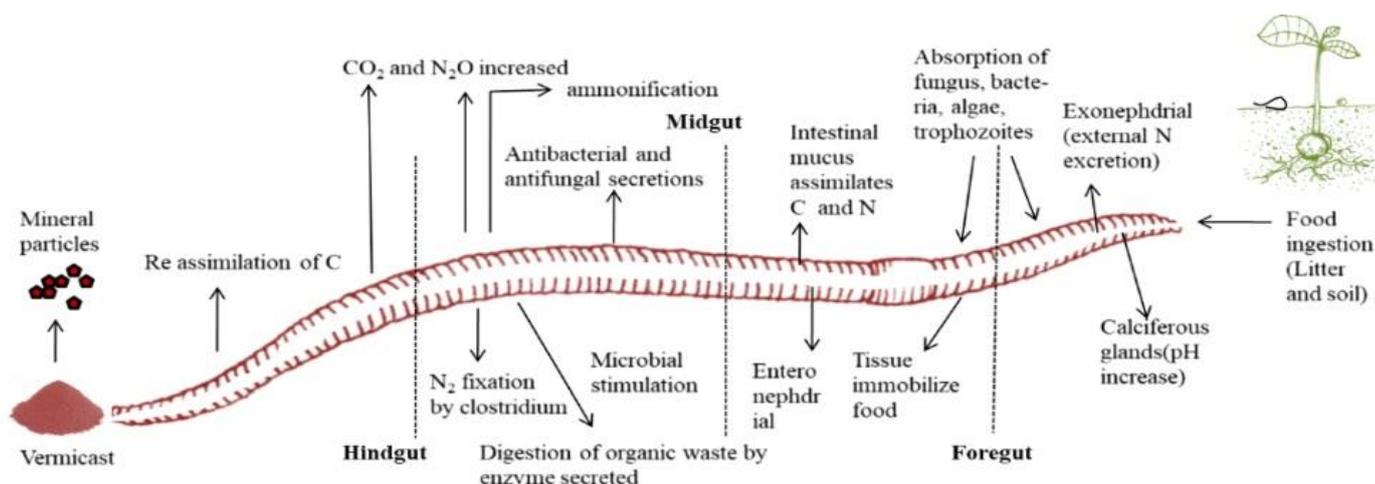
Las enzimas que participan en la digestión que se lleva a cabo en el intestino de las lombrices son producidas tanto por la propia lombriz como por su microbiota intestinal, si bien se considera que la mayor parte de esta actividad enzimática es de origen microbiano. Entre las enzimas que participan en el proceso, cabe señalar, por ejemplo: amilasas, celulasas, nitrato reductasas y fosfatasas ácidas y alcalinas, entre otras. Dichas enzimas se encargan de degradar las moléculas complejas en compuestos simples, ayudando de esta manera a la descomposición y humificación de la materia orgánica (Indira y Lakshmi, 2007; Katheem *et al.*, 2014). Estas enzimas también ayudan a mantener el pH estable en el interior del intestino, ya que son activas en un rango muy estrecho de pH. Además, al ser excretadas al exterior como parte del humus favorecen la presencia de microorganismos en el mismo (Katheem *et al.*, 2014).

En el proceso de vermicompostaje, las especies más utilizadas son *Eisenia foetida*, *Eudrilus eugeniae* y *Perionyx excavatus*. Esto se debe a las características que presentan dichas especies: son fáciles de cultivar, muestran un alto rendimiento en cuanto a descomposición de la materia orgánica, alta tolerancia a cambios ambientales, preferencia por alimentarse de restos orgánicos y bajo nivel de exigencia en cuanto al tipo de residuos que aceptan como alimento, además de

ser especies de crecimiento rápido cuyos huevos tienen periodos de incubación cortos (Garg y Gupta, 2009; Pattnaik *et al.* 2010).

### 3.5. La microbiota asociada a la lombriz y su participación en la elaboración de vermicompost

El intestino de la lombriz es un ambiente único que está colonizado por microorganismos, fundamentalmente bacterias y hongos, con notables diferencias entre las poblaciones microbianas presentes en el intestino anterior, medio y posterior (Sruthy *et al.*, 2013). Esta microbiota juega un papel importante en el proceso de vermicompostaje, ya que en el intestino anterior las bacterias contribuyen a la digestión de las partículas de alimento, en el intestino medio los actinomicetos destruyen posibles patógenos y en el intestino posterior los hongos se encargan de compactar las partículas de desecho que serán excretadas al exterior (**Figura 4**). Además, también están presentes microorganismos que la lombriz ingiere junto con el sustrato y que pueden ser beneficiosos, al aportar enzimas al proceso digestivo (Katheen *et al.*, 2014).



**Figura 4:** Proceso de producción de vermicompost y diferentes eventos que se llevan a cabo a lo largo del tubo digestivo de la lombriz (Singh *et al.*, 2020).

### 3.6. Comunidades microbianas principales presentes en el vermicompost

Una vez las lombrices excretan el *vermicast*, muchos microorganismos que forman parte de su microbiota intestinal, como bacterias fijadoras de nitrógeno, son liberados y permanecen en el vermicompost. A este respecto, se han observado diferencias notables entre los microorganismos presentes en el vermicompost y el compost termófilo, siendo los taxones *Actinobacteria* y  $\gamma$ -*Proteobacteria* los grupos más abundantes o bien  $\alpha$ -*Proteobacteria* y *Bacteroidetes* los taxones predominantes, respectivamente (Pathma y Sakhivel, 2012). Sin embargo, las comunidades microbianas varían enormemente según la especie de lombriz empleada (**Tabla 2**), si bien los grupos que suelen predominar en el vermicompost,

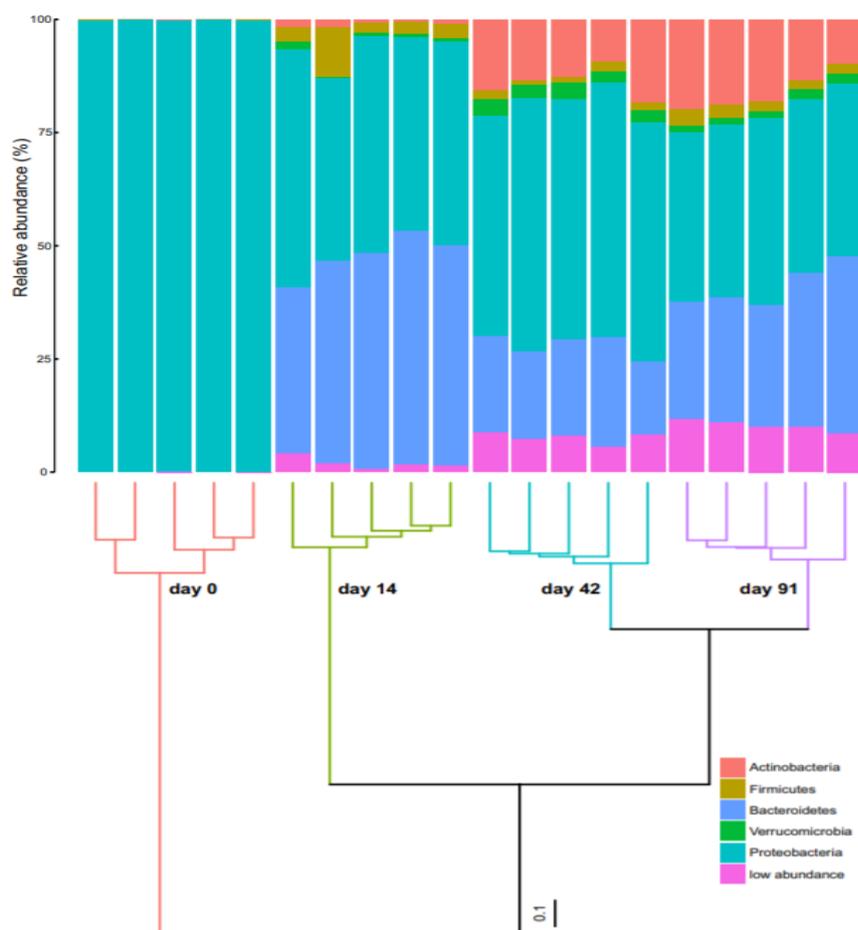
independientemente del tipo, son:  $\alpha$ -*Proteobacteria*,  $\beta$ -*Proteobacteria*,  $\gamma$ -*Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Planctomycetes*, *Firmicutes* y *Bacteroidetes*, tal y como indican los análisis metataxonómicos y de microorganismos cultivables (Pathma y Sakthivel, 2012; Medina-Sauza *et al.*, 2019). Asimismo, cabe destacar que, de manera generalizada, los recuentos totales llevados a cabo a partir de muestras de vermicompost muestran aumentos considerables en las poblaciones de bacterias y de actinomicetos con respecto a las registradas al inicio del proceso de vermicompostaje. Esta proliferación tras el paso por el intestino de la lombriz se debe a que las condiciones dentro del tubo digestivo son óptimas para el crecimiento microbiano: el aporte continuo de nutrientes a partir de la materia orgánica ingerida por la lombriz; producción de moco intestinal que mantiene la humedad; temperatura y pH estables, etc. (Pathma y Sakthivel, 2012).

**Tabla 2:** Principales grupos bacterianos presentes en el vermicompost producido por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y lombrices del género *Eudrilus*. Modificada de Pathma y Sakthivel (2012).

<b>Lombrices</b>	<b>Bacterias</b>	<b>Funciones</b>
<i>Eisenia foetida</i>	<i>Bacillus sp.</i> , <i>B. megaterium</i> , <i>B. pumilus</i> , <i>B. subtilis</i>	Actividad antimicrobiana frente a <i>Enterococcus faecalis</i> DSM 2570 y <i>Staphylococcus aureus</i> DSM 1104.
	<i>Proteobacteria</i> , <i>Bacteroidetes</i> , <i>Verrucomicrobia</i> , <i>Actinobacteria</i> , <i>Firmicutes</i>	Actividad antifúngica frente a hongos fitopatógenos ( <i>Colletotrichum coccodes</i> , <i>Fusarium moniliforme</i> , etc.)
<i>Eudrilus sp.</i>	<i>Azospirillum sp.</i> , <i>Azotobacter sp.</i> , <i>Nitrosomonas sp.</i> , <i>Nitrobacter sp.</i> , bacterias amonificantes, bacterias solubilizadoras de fosfatos	Estimulación del crecimiento vegetal por nitrificación, solubilización de fosfatos y supresión de enfermedades vegetales.

A modo de ejemplo, Domínguez *et al.* (2019) caracterizaron las comunidades bacterianas durante un proceso de vermicompostaje a partir de restos de *Cytisus scoparius* (retama negra). En este estudio, los autores determinaron, mediante análisis metagenómicos, la diversidad taxonómica y filogenética de las poblaciones bacterianas durante el periodo de 91 días que duró

el proceso de vermicompostaje (**Figura 5**). De acuerdo con los resultados obtenidos, la comunidad bacteriana en el inicio del proceso (día 0), estaría formada por los microorganismos presentes en la retama fresca (mayoritariamente Proteobacterias), si bien, cabe señalar que en este estudio se utilizó una sola materia prima (retama negra), lo que puede explicar la escasa diversidad bacteriana existente al comienzo del proceso. En el día 14 se observa un incremento importante de Bacteroidetes, probablemente procedentes del intestino de las lombrices en el que los residuos han sido procesados y digeridos. En los días 42 y 91 la diversidad bacteriana es mayor, observándose la aparición de taxones más especializados en metabolizar los sustratos residuales, por ejemplo, Actinobacterias. Cai *et al.* (2018) describen, durante un vermicompostaje realizado con residuos verdes, un patrón similar, es decir, un incremento de la diversidad y riqueza bacteriana en las últimas etapas del proceso.



**Figura 5:** Dendrograma en el que se representan las comunidades bacterianas (a nivel de filo) presentes durante el vermicompostaje de restos de retama negra (Domínguez *et al.*, 2019). Las barras representan la abundancia relativa de los filos bacterianos más abundantes.

## 4. Aplicaciones biotecnológicas del vermicompost

### 4.1. Papel del vermicompost en la fertilidad del suelo

La adición de vermicompost al suelo no sólo mejora su estructura sino, también, su fertilidad, estimulando el crecimiento de las plantas y suprimiendo las enfermedades causadas

por patógenos y, como consecuencia, aumenta el rendimiento general de los cultivos (Singh *et al.*, 2008).

La influencia del vermicompost sobre el crecimiento y la productividad de las plantas ha sido descrita desde hace muchos años derivada, principalmente, de la presencia de micro y macronutrientes, vitaminas, enzimas, hormonas (Sinha *et al.*, 2009; Makulec, 2002), una mayor área superficial (micrositios) que mejora la relación aire-agua del suelo y, como consecuencia, la fertilidad biológica del suelo mediante la adición de microorganismos beneficiosos (Marinari *et al.*, 2000). Además, el moco excretado a través del canal digestivo de las lombrices, estimula el antagonismo y la competencia entre diversas poblaciones microbianas (Edwards y Bohlen, 1996), y acelera la descomposición de la materia orgánica formada por sustancias húmicas estabilizadas que atrapan fitohormonas solubles (Edwards y Arancon, 2004), nutrientes en altas concentraciones (Atiyeh *et al.*, 2000b) e, incluso, metales pesados, liberando a la planta de su efecto fitotóxico (Domínguez y Edwards, 2004). De ahí su aplicación en una amplia gama de cultivos, entre los que se incluyen las plantas ornamentales, tanto en condiciones de campo como de invernadero (Atiyeh *et al.*, 2000b). Por lo tanto, como sugieren algunos autores, la lombriz actúa como acondicionador del suelo (Albanell *et al.*, 1988) y como fertilizante de liberación lenta (Atiyeh *et al.*, 2000c).

#### **4.2. Papel de las bacterias del vermicompost en la gestión de residuos biomédicos**

En los últimos años, ha adquirido gran importancia la gestión de los lodos de depuradora, los biosólidos y los residuos biomédicos mediante métodos seguros, baratos y sencillos.

A este respecto, el proceso de vermicompostaje llevado a cabo sobre diferentes tipos de **biosólidos**, mostró una reducción o eliminación selectiva de las poblaciones de coliformes fecales, *Salmonella* sp., virus entéricos y huevos de helmintos (Domínguez y Edwards, 2004; Ganesh Kumar y Sekaran, 2005).

En el caso de las **aguas residuales**, se ha observado que las lombrices de tierra promueven el crecimiento de "bacterias descomponedoras beneficiosas" actuando como aireadoras, trituradoras, degradadoras químicas y estimuladoras biológicas (Sinha *et al.*, 2002). Además, granulan las partículas de arcilla y aumentan la conductividad hidráulica y la aireación natural y Trituran, aún más, las partículas de limo y arena aumentando la superficie específica total. Es decir, el cuerpo de las lombrices de tierra actúa como un 'biofiltro' que elimina la demanda biológica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos disueltos

totales (TDS) y los sólidos suspendidos totales (TSS) de las aguas residuales en un 90%, 80 – 90%, 90-92% y 90-95%, respectivamente (Sinha *et al.*, 2008).

Por su parte, Umesh *et al.* (2006) muestran que el vermicompostaje puede convertir **desechos biomédicos** infectados por diversos patógenos (*Staphylococcus aureus*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas pyocyaneae* y *Escherichia coli*) en desechos inocuos que contienen comensales como *Citrobacter freundii* y microorganismos aeróbicos esporulados, colonizadores habituales del suelo y del canal alimentario de la lombriz de tierra.

#### **4.3. Papel del vermicompost en la promoción del crecimiento vegetal**

Las aplicaciones del vermicompost como biofertilizante se han incrementado en los últimos años como consecuencia de su extraordinario contenido nutricional y elevada actividad microbiana y antagonista. De hecho, tanto el elaborado a partir de desperdicios de comida como el de estiércol de ganado, estiércol de cerdo, etc., cuando se usa como suplemento, mejora el crecimiento y desarrollo de las plántulas, aumentando la productividad de una amplia variedad de cultivos (Buckerfield y Webster, 1998; Edwards, 1998; Subler *et al.*, 1998; Atiyeh *et al.*, 2000b). En este sentido, se ha descrito la producción, durante el vermicompostaje, de reguladores del crecimiento de las plantas como auxinas, giberelinas, citoquininas de origen microbiano (Tomati *et al.*, 1988; Muscolo *et al.*, 1999; Jagnow, 1987; Mahmoud *et al.*, 1984) y ácidos húmicos (Atiyeh *et al.*, 2002). Los ácidos húmicos y fúlvicos en el humus disuelven los minerales insolubles haciéndoles disponibles para las plantas, ayudándoles a superar el estrés y estimular su crecimiento (Sinha *et al.*, 2010).

Por otra parte, se ha descrito un efecto estimulador del crecimiento sobre plantas ornamentales tratadas con las heces de las lombrices de tierra, así como sobre la formación de carpóforos en el hongo *Agaricus bisporus* (Tomati *et al.*, 1987). También los extractos acuosos de vermicompost presentan un efecto comparable al de hormonas como auxinas, giberelinas y citoquininas, es decir, se comporta como una rica fuente de sustancias reguladoras del crecimiento de las plantas (Suthar, 2010; Edwards *et al.*, 2004).

Los microbios asociados al intestino de las lombrices de tierra enriquecen los vermicompostes con hormonas de crecimiento vegetal altamente solubles en agua y sensibles a la luz, que se absorben en las sustancias de ácido húmico en el vermicompost, lo que las hace extremadamente estables y las ayuda a persistir más tiempo en los suelos, influyendo en el crecimiento de las plantas (Atiyeh *et al.*, 2002; Arancon *et al.*, 2003b). La mejora en el

crecimiento de las plantas podría atribuirse al hecho de que los desechos procesados tenían características fisicoquímicas y nutrientes mejorados, en formas fácilmente disponibles para la planta, así como a la presencia de bacterias beneficiosas que promueven el crecimiento de las plantas e inhiben las enfermedades antagonistas.

#### ***4.4. Papel del vermicompost en el manejo de enfermedades de las plantas***

##### ***Control de patógenos vegetales***

Es conocido que los suelos pobres en materia orgánica y con baja actividad microbiana, facilitan la aparición de enfermedades en las raíces de las plantas (Stone *et al.*, 2004), si bien el tratamiento con enmiendas orgánicas reprime eficazmente dichos efectos (Blok *et al.*, 2000; Lazarovits *et al.*, 2000). Estas propiedades supresoras de enfermedades han sido descritas para el compost termofílico sobre una amplia gama de fitopatógenos (*Rhizoctonia*, Kuter *et al.*, 1983; *Phytophthora*, Hoitink y Kuter, 1986; *Fusarium*, Cotxarrera *et al.*, 2002). Las razones para esta supresión pudieran, en parte, deberse al antagonismo microbiano, favorecido por las enmiendas orgánicas que mejoran las poblaciones y diversidad microbiana. De hecho, los composts termofílicos tradicionales favorecen a microorganismos seleccionados, mientras que los vermicomposts (no termofílicos) estimulan la diversidad y actividad microbiana, entre ellas bacterias antagonistas, que actúan como agentes de control biológico efectivo que ayudan en la supresión de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos (Scheuerell *et al.*, 2005; Singh *et al.*, 2008).

##### ***Mecanismos que median la supresión de patógenos***

Se han descrito dos posibles mecanismos de supresión de patógenos, el primero de ellos, basado en la resistencia sistémica de la planta y, el segundo, apoyado en la competencia microbiana, es decir, la antibiosis y el hiperparasitismo (Hoitink y Grebus, 1997). A su vez, este segundo mecanismo, puede subdividirse en dos nuevos mecanismos denominados “supresión general” (una amplia gama de microorganismos suprimen a los patógenos; Ej. *Pythium* y *Phytophthora*; Chen *et al.*, 1987), y “supresión específica” (llevada a cabo por una estrecha gama de microorganismos; Ej. *Rhizoctonia*; Hoitink *et al.*, 1997). El origen biótico de este efecto supresor del vermicompost fue observado por Szczech (1999) al estudiar la marchitez producida por *Fusarium* sobre plantas de tomate, al mostrar la desaparición de dicho efecto tras la aplicación de vermicompost esterilizados por calor. En algunos casos, este efecto supresor es dependiente de la dosis y la temperatura (Rivera *et al.*, 2004), mientras que en otros

la actividad de las lombrices incrementa las comunidades de bacterias gramnegativas (Elmer, 2009) o quitinolíticas, mostrando en este último caso efectos inhibidores frente a fitopatógenos como *Rhizoctonia solani*, *Colletotrichum coccodes*, *Pythium ultimum*, *P. capsici* y *Fusarium moniliforme* (Yasir *et al.*, 2009).

#### **4.5. Papel del vermicompost en el control de plagas de artrópodos**

La aplicación del vermicompost en diferentes suelos ha permitido demostrar su contribución a la supresión de diferentes plagas de insectos en el maíz (barrenador europeo, Phelan *et al.*, 1996; Biradar *et al.*, 1998), pulgones e insectos escamosos (Huelsman *et al.*, 2000) y el brote de berenjena y el barrenador de la fruta (Sudhakar *et al.*, 1998). Este efecto supresor del vermicompost ha sido descrito sobre otra gran variedad de insectos, desde el minador de hojas, pulgones, ácaros, psílidos, araña roja, pulgón y cochinilla (Rao, 2003; Edwards *et al.*, 2007; Arancon *et al.*, 2007). Los téis de vermicompost en dosis más altas también provocan la mortalidad de las plagas (Edwards *et al.*, 2010b). Asimismo, la aplicación combinada de vermicompost y spray de vermilavado al chile (*Capiscum annum*) redujo significativamente la incidencia de “Thrips” (*Scirtothrips dorsalis*) y ácaros (*Polyphagotarsonemus latus*) (Saumaya *et al.*, 2007).

#### **Mecanismos que median en el control de plagas**

Las plantas cultivadas con fertilizantes inorgánicos son más propensas al ataque de plagas que las cultivadas con fertilizantes orgánicos (Phelan, 2004), ya que el nitrógeno inorgánico mejora la calidad nutricional y la palatabilidad de las plantas hospedantes, inhibe el aumento de las concentraciones de metabolitos secundarios (Herms, 2002), aumenta la fecundidad de los insectos que la utilizan como alimento, atrae a más individuos para la oviposición (Bentz *et al.*, 1995) y aumenta las tasas de crecimiento de la población de insectos (Jannsson y Smilowitz, 1986). Por su parte, los fertilizantes orgánicos, como los vermicomposts, exhiben un patrón de liberación nutricional más lento, ofreciendo mayor resistencia al ataque de plagas (Edwards, 1998). Los vermicomposts, ricos en compuestos fenólicos, actúan como elementos disuasorios de la alimentación, lo cual afecta significativamente a los ataques de plagas (Koul, 2008; Mahanil *et al.*, 2008; Bhonwong *et al.*, 2009). En este sentido, la presencia de fenoles policlorados en suelos con lombrices, puede producir intermediarios fenólicos tóxicos (p-nitrofenol), mediante una fenoloxidasa endógena (Knuutinen *et al.*, 1990; Park *et al.*, 1996). Además, la absorción de compuestos fenólicos solubles por los tejidos vegetales los hace

desagradables, lo cual afecta a las tasas de reproducción y supervivencia de las plagas (Edwards *et al.*, 2010a; Edwards *et al.*, 2010b).

#### **4.6. Papel del vermicompost en el control de nematodos**

Es sabido que, la adición de enmiendas orgánicas a los suelos ejerce un efecto inhibitorio sobre las poblaciones de nematodos parásitos de las plantas (Akhtar y Malik 2000). Un efecto similar ha sido descrito al utilizar enmiendas obtenidas de vermicompost, sobre las poblaciones de nematodos en condiciones de campo (Arancon *et al.* 2003a), supresión del ataque de *Meloidogyne incognita* sobre tabaco, pimiento, fresa y tomate (Edwards *et al.* 2007; Arancon *et al.* 2002) y un descenso en el número de agallas y masas de huevos de *Meloidogyne javanica* (Ribeiro *et al.* 1998).

#### **Mecanismos que median en el control de nematodos**

La supresión de nematodos parásitos de plantas mediante la aplicación de vermicompost involucra factores tanto bióticos como abióticos. La adición de materia orgánica al suelo estimula la población de antagonistas bacterianos y fúngicos de nematodos (Ej., *Pasteuria penetrans*, *Pseudomonas sp.* bacterias quitinolíticas, *Trichoderma sp.*), ácaros nematófagos (*Hypoaspis calcuttaensis*, Bilgrami, 1996) y otros artrópodos que se alimentan selectivamente de nematodos parásitos de las plantas (Thoden *et al.*, 2011). De igual forma, el vermicompost estimula el crecimiento de hongos capaces de atrapar nematodos, destruir quistes de nematodos (Kerry, 1988) y aumentar la población de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal que producen enzimas tóxicas frente a nematodos parásitos (Siddiqui y Mahmood, 1999).

Por otra parte, algunos factores abióticos (sulfuro de hidrógeno, amoníaco, nitratos y ácidos orgánicos) liberados durante el vermicompostaje, así como las bajas proporciones C/N del compost, causan efectos adversos directos, mientras que los cambios en las características fisicoquímicas del suelo (densidad aparente, porosidad, capacidad de retención de agua, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y nutrición) presentan efectos adversos indirectos sobre dichas poblaciones de nematodos (Thoden *et al.*, 2011).

## **5. Conclusiones**

Teniendo en cuenta la discusión precedente y dado el estado actual de nuestros conocimientos en base a la bibliografía consultada relativa al proceso de vermicompostaje, se proponen, como conclusiones más relevantes, las siguientes:

1. El vermicompostaje es una tecnología de gestión de residuos, rentable y ecológica, que aprovecha los beneficios de las lombrices de tierra y los microbios asociados y ofrece muchas ventajas sobre el compostaje termofílico tradicional.
2. Los vermicomposts obtenidos en los procesos de vermicompostaje son excelentes fuentes de biofertilizantes y su adición mejora las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo agrícola. Esta tecnología aumenta la diversidad microbiana así como las poblaciones de comunidades microbianas beneficiosas.
3. Aunque el vermicompost se utiliza con diferentes fines, como acondicionador de suelo, reciclado de desechos, tratamiento de aguas residuales, etc., su composición presenta algunas limitaciones dependiendo del tiempo requerido para la madurez y la naturaleza de las materias primas. Por tanto, es necesaria una mayor investigación sobre la composición del sustrato, la presencia de sustratos tóxicos, la generación de gases efecto invernadero y la posibilidad de combinar con otros biofertilizantes.
4. Con el fin de preservar el agroecosistema y proteger la salud humana de los fertilizantes químicos, resulta conveniente promover la "agricultura orgánica" centrada, principalmente, en la producción de alimentos libres de químicos. En este contexto, el uso de fertilizantes orgánicos como el "vermicompost" podría sustituir a los fertilizantes químicos, reduciendo el costo económico así como ofrecer la posibilidad de generar otros productos orgánicos de elevado precio en el mercado actual.

## *Conclusions*

Taking into account the preceding discussion and given the current state of our knowledge based on the bibliography consulted regarding the vermicomposting process, the following are proposed as the most relevant conclusions:

1. Vermicomposting is a cost-effective and environmentally friendly waste management technology that make the most of the benefits of earthworms and associated microbes and offers many advantages over traditional thermophilic composting.
2. The vermicomposts obtained in vermicomposting processes are excellent sources of biofertilizers and their addition improves the physicochemical and biological properties of agricultural soil. This technology increases microbial diversity as well as populations of beneficial microbial communities.
3. Although vermicompost is used for different purposes, such as soil conditioner, waste recycling, sewage treatment, etc., its composition presents some limitations depending on the time required for maturity and the nature of the raw materials. Therefore, more research is needed on the composition of the substrate, the presence of toxic substrates, the generation of greenhouse gases and the possibility of combining it with other biofertilizers.
4. To preserve the agroecosystem and protect human health from chemical fertilizers, it is convenient to promote “organic agriculture” mainly focused on the production of chemical-free food. In this context, the use of organic fertilizers such as vermicompost could replace chemical fertilizers, reducing the economical cost as well as offering the possibility of generating other high-priced organic products in the current market.

## 6. Bibliografía

- Aira, M., Gómez-Brandón, M., González-Porto, P., and Domínguez, J.** 2011. Selective reduction of the pathogenic load of cow manure in an industrial-scale continuous-feeding vermireactor. *Bioresour Technol*, 102(20): 9633–9637.
- Aira, M., Monroy, F., and Domínguez, J.** 2007. *Eisenia fetida* (*Oligochaeta: Lumbricidae*) modifies the structure and physiological capabilities of microbial communities improving carbon mineralization during vermicomposting of pig manure. *Microb Ecol*, 54, 662–671.
- Akhtar, M., Malik, A.** 2000. Role of organic amendments and soil organisms in the biological control of plant parasitic nematodes: a review. *Bioresour Technol* 74:35–47.
- Albanell, E., Plaixats, J., Cabrero, T.** 1988. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biol Fertil Soils* 6:266–269.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Lee, S.** 2002. Management of plant parasitic nematode populations by use of vermicomposts. In: Proceedings Brighton Crop Protection Conference – Pests and Diseases, 8B-2: 705–716.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Yardim, E.N., Oliver, T.J., Byrne, R.J., Keeney, G.** 2007. Suppression of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), mealy bug (*Pseudococcus* sp) and aphid (*Myzus persicae*) populations and damage by vermicomposts. *Crop Prot* 26:29–39.
- Arancon, N.Q., Galvis, P., Edwards, C.A., Yardim, E.** 2003a. The trophic diversity of nematode communities in soils treated with vermicomposts. *Pedobiologia* 47:736–740.
- Arancon, N.Q., Lee, S., Edwards, C.A., Atiyeh, R.M.** 2003b. Effects of humic acids and aqueous extracts derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse plants. *Pedobiologia* 47:744–781.
- Atiyeh, R. M. Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., and Shuster, W.** 2000a. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*. 44: 579-590.
- Atiyeh, R.M., Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Metzger, J.D.** 2000b. Influence of earthworm- processed pig manure on the growth and yield of green house tomatoes. *Bioresour Technol* 75:175–180.
- Atiyeh, R.M., Dominguez, J., Subler, S., Edwards, C.A.** 2000c. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44:709–724.
- Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Metzger, J.D.** 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresour Technol* 84:7–14.
- Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., Alami, I.T.** 2018. Composting parameters and compost quality: a literatura review. *Org Agr*, 8, 141-158.
- Banks, C.J., Heaven, S., Zhang, Y., Baier, U.** 2018. Food waste digestion: Anaerobic Digestion of Food Waste for a Circular Economy. Murphy, J.D. (Ed.) IEA *Bioenergy Task* 37: 12.
- Bentz, J.A., Reeves, J., Barbosa, P., Francis, B.** 1995. Nitrogen fertilizer effect on selection, acceptance and suitability of *Euphorbia pulcherrima* (Euphorbiaceae) as a host plant to *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Environ Entomol* 24:40–45.

- Bhonwong, A., Stout, M.J., Attajarusit, J., Tantasawat, P.** 2009. Defensive role of tomato polyphenoloxidases against cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*) and beet army worm (*Spodoptera exigua*). *J Chem Ecol* 35:28–38.
- Bilgrami, A.L.** 1996. Evaluation of the predation abilities of the mite *Hypoaspis calcuttaensis*, predaceous on plant and soil nematodes. *Fund Appl Nematol* 20:96–98.
- Biradar, A.P., Sunita, N.D., Teggel, R.G., Devaradavdgi, S.B.** 1998. Effect of vermicompost on the incidence of subabul psyllid. *Insect- Environ* 4:55–56.
- Blok, W.J., Lamers, J.G., Termoshuizen, A.J., Bollen, G.J.** 2000. Control of soil-borne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping. *Phytopathology* 90:253–259.
- Buckerfield, J.C., Webster, K.A.** 1998. Worm-worked waste boosts grape yields: prospects for vermicompost use in vineyards. *Australian and New Zealand Wine Industry Journal* 13:73–76.
- Cai, L., Gong, X., Sun, X., Li, S. and Yu, X.** 2018. Comparison of chemical and microbiological changes during the aerobic composting and vermicomposting of green waste. *Plos One*, 13(11): e0207494.
- Castillo, A.E., Quarín, S. H. and Iglesias, M. C.** 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaborado a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura Técnica (Chile)*. 60(1): 74-79.
- Chávez Porrás, A., and Rodríguez González, A.** 2016. Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia Y Virtualidad*, 9(2), 90-107
- Chen, W., Hoitink, H.A., Schmitthenner, A.F., Touvinen, O.** 1987. The role of microbial activity in suppression of damping off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology* 78:314–322.
- Contreras-Ramos, S., Escamilla-Silva, E. and Dendooven, L.** 2005 Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat straw. *Biol Fertil Soils*, 41(3):190–198.
- Cotxarrera, L., Trillas-Gayl, M.I., Steinberg, C., Alabouvette, C.** 2002. Use of sewage sludge compost and *Trichoderma asperellum* isolates to suppress *Fusarium wilt* of tomato. *Soil Biol Biochem* 34:467–476.
- Diaz, L. F. and de Bertoldi, M.** 2007. History of composting. *Compost science and technology*; 8: 7-24
- Domínguez, J.** 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. In: Edwards, C.A. (ed): *Earthworm Ecology* pp 401-424
- Domínguez, J., Aira, M., and Gómez-Brandón, M.** 2010. Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes. In: Insam, H., Franke-Whittle, I., and Goberna, M., (Eds.), *Microbes at work: From wastes to resources*, 93–114.
- Domínguez, J., Aira, M., Kolbe, A., Gómez-Brandón, M. and Pérez-Losada, M.** 2019. Changes in the composition and function of bacterial communities during vermicomposting may explain beneficial properties of vermicompost. *Sci Rep* 9, 9657.
- Dominguez, J., Edwards, C.A.** 2004. Vermicomposting organic wastes: A review. In: Shakir Hanna SH, Mikhail WZA (eds) *Soil Zoology for sustainable Development in the 21st century*. *Cairo*, 369–395.
- Eastman, B. R.** 1999. Achieving pathogen stabilization using vermicomposting. *BioCycle*. 62-64.
- Edwards, C. A., Arancon, N. Q. and Sherman, R. L.** 2010. *Vermiculture technology: earthworms, organic wastes, and environmental management*. CRC Press.
- Edwards, C.A.** 1998. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: Edwards CA (ed) *Earthworm Ecology*. *CRC Press, Boca Raton*, 327–354.
- Edwards, C.A., Arancon, N.Q.** 2004. Vermicomposts suppress plant pest and disease attacks. *BioCycle* 45:51–53.

- Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Bennett, M.V., Askar, A., Keeney, G.** 2010b. Effect of aqueous extracts from vermicomposts on attacks by cucumber beetles (*Acalymna vittatum*) (Fabr.) on cucumbers and tobacco hornworm (*Manduca sexta*) (L.) on tomatoes. *Pedobiologia* 53:141–148.
- Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Emerson, E., Pulliam, R.** 2007. Suppressing plant parasitic nematodes and arthropod pests with vermicompost teas. *Biocycle* :38–39.
- Edwards, C.A., Bohlen, P.J.** 1996. Biology and Ecology of earthworms. Chapman and Hall, London, 426.
- Edwards, C.A., Dominguez, J., Arancon, N.Q.** 2004. The influence of vermicomposts on pest and diseases. In: Shakir Hanna SH, Mikhail WZA (eds) Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st century. *Cairo*, 397–418.
- Elmer, W.H.** 2009. Influence of earthworm activity on soil microbes and soilborne diseases of vegetables. *Plant Dis* 93:175–179.
- Ganesh kumar, A., Sekaran, G.** 2005. Enteric pathogen modification by anaerobic earthworm, *Lampito Mauritii*. *J Appl Sci Environ Mgt* 9:15–17
- Garg, V. K. and Gupta, R.** 2009. Vermicomposting of Agro-Industrial Processing Waste. 432-454.
- Gómez-Brandón, M. and Domínguez, J.** 2014. Recycling of soil organic wastes through vermicomposting: Microbial community changes throughout the process and use of vermicompost as a soil amendment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44: 1289-1312.
- Gómez-Brandón, M., Aira, M., Lores, M., and Domínguez, J.** 2011. Epigeic earthworms exert a bottleneck effect on microbial communities through gut associated processes. *PLoS One*, 6, 1–9.
- Gunadi, B. and Edwards, C.A.,** 2003. The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) (Lumbricidae). *Pedobiologia*, 47.
- Hénault-Ethier, L., Vincent, J., Martin, and Yves Gélinas.** 2016. Persistence of *Escherichia coli* in batch and continuous vermicomposting systems. *Waste Management* 56: 88–99
- Hermes, D.A.** 2002. Effects of fertilization on insect resistance of woody ornamental plants. *Environ Entomol* 31:923–933.
- Hickman, C.P., Roberts, L.S. and Larson, A.** 1998. Principios integrales de zoología 14ª edición. Mcgraw-hill (ed). Interamericana
- Hill, G. B., Lalander, C. and Baldwin, S.** 2013. The effectiveness and safety of vermi-versus conventional composting of human feces with *Ascaris suum ova* as model helminthic parasites. *J Sustain Dev* 6(4):p1
- Hoitink, H.A., Grebus, M.E.** 1997. Composts and Control of Plant Diseases. In: Hayes MHB, Wilson WS (eds) Humic Substances Peats and Sludges Health and Environmental Aspects. *Royal Society of Chemistry, Cambridge*, 359–366.
- Hoitink, H.A., Kuter, G.A.** 1986. Effects of composts in growth media on soil-borne pathogens. In: Chen Y, Avnimelech Y (eds) The role of organic matter in modern agriculture. *Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht*, 289–306.
- Hoitink, H.A., Stone, A.G., Han, D.Y.** 1997. Suppression of plant diseases by compost. *Hort Sci* 32:184–187.
- Huang, K. and Xia, H.** 2017. Role of earthworms' mucus in vermicomposting system: Biodegradation tests based on humification and microbial activity. *Science of the Total Environment*, 610–611.
- Huelsman, M.F., Edwards, C.A., Lawrence, J.L., Clarke-Harris, D.O.** 2000. A study of the effect of soil nitrogen levels on the incidence of insect pests and predators in Jamaican sweet potato (*Ipomoea batatas*) and Callaloo (*Amaranthus*). *Proc Brighton Pest Control Conference: Pests and Diseases* 8D–13:895–900.

- Indira and Lakshmi.** 2007. Comparative studies on the digestive enzymes in the gut of earthworms, *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia fétida*. *Indian Journal of Biotechnology*, 6: 567-569
- Insam, H. and de Bertoldi, M.** 2007. Microbiology of the composting process. *Compost science and technology*; 8: 25-48.
- Jagnow, G.** 1987. Inoculation of cereal crops and forage grasses with nitrogen- fixing rhizosphere bacteria: a possible cause of success and failure with regard to yield response - a review. *Z Pflanzenernaehr Dueng Bodenkde* 150:361–368.
- Jansson, R.K., Smilowitz, Z.** 1986. Influence of nitrogen on population parameters of potato insects: abundance, population growth and within-plant Page 16 of 19 distribution of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Environ Entomol* 15:49–55.
- Karimi, H., Mokhtari, M., Salehi, F., Sojoudi, S. and Ebrahimi, A.** 2017. Changes in microbial pathogen dynamics during vermicomposting mixture of cow manure–organic solid waste and cow manure– sewage sludge. *Recycl Org Waste Agricult*, 6: 57–61.
- Katheem Kiyasudeen S., Jessy, R. S. and Ibrahim, M. H.** 2014. Earthworm's gut as reactor in vermicomposting process: A mini review. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4: 2250 - 3153.
- Kerry, B.** 1988. Fungal parasites of cyst nematodes. In: Edwards CA, Stinner BR, Stinner D, Rabatin S (eds) *Biological Interactions in Soil. Elsevier, Amsterdam*, 293–306.
- Knuutinen, J., Palm, H., Hakala, H., Haimi, J., Huhta, V., Salminen, J.** 1990. Polychlorinated phenols and their metabolites in soil and earthworms of a saw mill environment. *Chemosphere* 20:609–623.
- Koul, O.** 2008. Phytochemicals and insect control: an antifeedant approach. *Crit Rev Plant Sci* 27:1–24.
- Kuter, G.A., Nelson, G.B., Hoitink, H.A., Madden, L.V.** 1983. Fungal population in container media amended with composted hardwood bark suppressive and conductive to *Rhizoctonia* damping-off. *Phytopathology* 73:1450–1456.
- Lavelle, P.** 1988. Earthworm activities and the soil system. *Biolo. Fertil. Soils*, 6: 237-251
- Lazarovits, G., Tenuta, M., Conn, K.L., Gullino, M.L., Katan, J., Matta, A.** 2000. Utilization of high nitrogen and swine manure amendments for control of soil-borne diseases: efficacy and mode of action. *Acta Horti* 5:559–564.
- Lucifero, N.** 2016. Food loss and waste in the EU law between sustainability of well-being and the implications on food system and on environment. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, 282-289.
- Mahanil, S., Attajarusit, J., Stout, M.J., Thipayong, P.** 2008. Over expression of tomato phenol oxidase increases resistance to the common cutworm. *Plant Sci* 174:456–466.
- Mahmoud, S.A., Ramadan, Z., Thabet, E.M., Khater, T.** 1984. Production of plant growth promoting substance rhizosphere organisms. *Zentrbl Mikrobiol* 139:227–232.
- Makulec, G.** 2002. The role of *Lumbricus rubellus* Hoffm. In determining biotic and abiotic properties of peat soils. *Pol J Ecol* 50:301–339.
- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., Grego, S.** 2000. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Bioresour Technol* 72:9–17.
- Medina-Sauza, R.M., Álvarez-Jiménez, M., Delhal, A., Reverchon, F., Blouin, M., Guerrero-Analco, J.A., Cerdán, C.R., Guevara, R., Villain, L., Barois, I.** 2019. Earthworms building up soil microbiota, a review. *Front Environ Sci*, 7(81), 1-20.
- Moreno Reséndez, A.** 2005. Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies hortícolas y ornamentales.

- Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F., Nardi, S.** 1999. Earthworm humic matter produces auxin-like effect on *Daucus carota* cell growth and nitrate. Page 17 of 19.
- Olle, M.** 2019. Review: Vermicompost, its importance and benefit in agriculture. *J Agric Sci*, 2, 93-98.
- Park, S.R., Cho, E.J., Yu, K.H., Kim, Y.S., Suh, J.J., Chang, C.S.** 1996. Endogenous phenoloxidase from an earthworm *Lumbricus rubellus*. *Tongmul Hakoehi* 39:36–46.
- Partanen, P., Hultman, J., Paulin, L., Auvinen, P. and Romandschuk, M.** 2010: Bacterial diversity at different stages of the composting process. *BMC Microbiology*, 10: 94.
- Pathma, J., and Sakthivel, N.** 2012. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *SpringerPlus*, 26: 1-19.
- Pattnaik, S. and Reddy, V.M.** 2010. Nutrient status of vermicompost of urban green waste processed by three earthworm species-*Eisenia fetida*, *Eudrilus eugeniae*, and *Perionyx excavatus*. *Applied and Environmental Soil Science*, 2010:1-13.
- Pereira, M. G. and Zezzi-Arruda, M. A.** 2003. Vermicompost as a Natural Adsorbent Material: Characterization and Potentialities for Cadmium Adsorption. *J. Braz. Chem. Soc.*, 14(1): 39- 47.
- Phelan, P.L.** 2004. Connecting below-ground and above-ground food webs: the role of organic matter in biological buffering. In: Magadoff F, Well RR (eds) Soil Organic Matter in sustainable agriculture. *CRC Press, Boca Raton*, 199–226.
- Phelan, P.L., Norris, K.H., Mason, J.F.** 1996. Soil management history and host preference by *Ostrinia nubilalis*: evidence for plant mineral balance. Pathma and Sakthivel. *SpringerPlus* 2012, 1:26, mediating insect-plant interactions. *Environ Entom* 25:1329–1336.
- Rao, K.R.** 2003. Influence of host plant nutrition on the incidence of *Spodoptera litura* and *Helicoverpa armigera* on groundnuts. *Indian J Entomol* 65:386–392.
- Reynolds, J., Wetzel, M.,** 2016. Nomenclatura Oligochaetologica—A catalogue of names, descriptions and type specimens of the Oligochaeta. *New Brunswick Museum Monographic Series (Natural Science)*, 9.
- Ribeiro, C.F., Mizobutsi, E.H., Silva, D.G., Pereira, J.C.R., Zambolim, L.** 1998. Control of *Meloidogyne javanica* on lettuce with organic amendments. *Fitopatol Brasileira* 23:42–44.
- Rivera, A.M.C., Wright, E.R., López, M.V., Fabrizio, M.C.** 2004. Temperature and dosage dependent suppression of damping-off caused by *Rhizoctonia solani* in vermicompost amended nurseries of white pumpkin. *Phyton* 53:131–136.
- Ryckeboer, J., Mergaert, J., Vaes, K., Klammer, S., De Clercq, D., Coosemans, J., et al.** 2003. A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. *Ann Microbiol*, 53: 349–410.
- Sánchez, Ó.J., Ospina, D.A., Montoya, S.** 2017. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Manage*, 69, 136-153.
- Santamaría-Romero, S., and Ferrera-Cerrato, R.** 2002. Dinámica poblacional de *Eisenia andrei* (Bouché 1972) en diferentes residuos orgánicos. *Terra*, 20: 303-310.
- Saumaya, G., Giraddi, R.S., Patil, R.H.** 2007. Utility of vermiwash for the management of thrips and mites on chilli (*Capiscum annum*) amended with soil organics. *Karnataka J Agric Sci* 20:657–659.
- Scheuerell, S.J., Sullivan, D.M., Mahaffee, W.F.** 2005. Suppression of seedling damping-off caused by *Pythium ultimum*, and *Rhizoctonia solani* in container media amended with a diverse range of Pacific Northwest compost sources. *Phytopathology* 95:306–315.
- Siddiqui, Z.A., Mahmood, I.** 1999. Role of bacteria in the management of plant parasitic nematodes: a review. *Bioresour Technol* 69:167–179.

- Singh, A., Karmegam, N., Singh, G.S., Bhadauria, T., Chang, S.W., Awasthi, M.K., Sudhakar, S., Arunachalam, K.D., Biruntha, M., Ravindran, B.** 2020. Earthworms and vermicompost: an eco-friendly approach for repaying nature's debt. *Environ Geochem Health*, 42, 1617-1642.
- Singh, R., Sharma, R.R., Kumar, S., Gupta, R.K., Patil, R.T.** 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresour Technol* 99:8507–8511.
- Singh, S., Khwairakpam, M., Tripathi, C.N.** 2013. A comparative study between composting and vermicomposting for recycling food wastes. *Int J Environ Waste Manage*, 12, 231-242.
- Sinha, R.K.** 2009. Earthworms: the miracle of nature (Charles Darwin's 'unheralded soldiers of mankind and farmer's friends'). *Environmentalist*, 29: 339-340.
- Sinha, R.K., Agarwal, S., Chauhan, K., Valani, D.** 2010 The wonders of earthworms and its vermicompost in farm production: Charles Darwin's 'friends of farmers', with potential to replace destructive chemical fertilizers from agriculture. *Agricultural sciences* 1:76–94.
- Sinha, R.K., Bharambe, G., Chaudhari, U.** 2008. Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: a low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. *The Environmentalist* 28:409–420.
- Sinha, R.K., Heart, S., Agarwal, S., Asadi, R., Carretero, E.** 2002. Vermiculture technology for environmental management: study of the action of the earthworms *Eisenia foetida*, *Eudrilus euginae* and *Perionyx excavatus* on biodegradation of some community wastes in India and Australia. *The Environmentalist* 22:261–268.
- Sinha, R.K., Herat, S., Valani, D., Chauhan, K.** 2009. Vermiculture and sustainable agriculture. Am-Euras J Agric and Environ Sci, IDOSI Publication 5:1–55 Sipes BS, Arakaki AS, Schmitt DP, Hamasaki RT (1999) Root-knot nematode management in tropical cropping systems with organic products. *J Sustain Agr* 15:69–76.
- Slorach, P. C., Harish K. Jeswani, Cuéllar-Franca, R. and Azapagic, A.** 2019. Environmental and economic implications of recovering resources from food waste in a circular economy. *Science of the Total Environment*, 693: 133516.
- Soobhany, N.** 2018. Preliminary evaluation of pathogenic bacteria loading on organic Municipal Solid Waste compost and vermicompost. *Journal of Environmental Management*, 206: 763-767.
- Sruthy, P., Anjana, J., Rathinamala, J. and Jayashree, S.** 2013. Screening of earthworm (*Eudrilus eugeniae*) gut as a transient microbial habitat. *Advances in zoology and botany*, 1(3): 53-56.
- Stone, A.G., Scheurell, S.J., Darby, H.M.** 2004. Suppression of soilborne diseases in field agricultural systems: organic matter management, cover cropping and other cultural practices. In: Magdoff F, Weil (eds) Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. *CRC Press LLC, Boca Raton*, 131–177.
- Subler, S., Edwards, C.A., Metzger, P.J.** 1998. Comparing vermicomposts and composts. *Biocycle* 39:63–66.
- Sudhakar, K., Punnaiah, K.C., Krishnayya, P.V.** 1998. Influence of organic and inorganic fertilizers and certain insecticides on the incidence of shoot and fruit borer, *Leucinodes orbonalis* Guen, infesting brinjal. *J Entomol Res* 22:283–286.
- Suthar, S.** 2010. Evidence of plant hormone like substances in vermiwash: An ecologically safe option of synthetic chemicals for sustainable farming. *J Ecol Eng* 36:1089–1092.
- Szczeczek, M.M.** 1999. Suppressiveness of vermicomposts against fusarium wilt of tomato. *J Phytopathology* 147:155–161.

- Thoden, T.C., Korthals, G.W., Termorshuizen.** 2011. Organic amendments and their influences on plant-parasitic and free living nematodes: a promising method for nematode management. *Nematology* 13:133–153.
- Tomati, U., Grappelli, A., Galli, E.** 1987. The presence of growth regulators in earthworm worked waste. In: Bonvicini Paglioi AM, Omodeo P (eds) On Earthworms. Proceedings of International Symposium on Earthworms, Selected Symposia and Monographs, Union Zoologica Italian, 2. Modena, Mucchi, 423–435.
- Tomati, U., Grappelli, A., Galli, E.** 1988. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biol Fertil Soils* 5:288–294.
- Umesh, B., Mathur, L.K., Verma, J.N., Srivastava.** 2006. Effects of vermicomposting on microbiological flora of infected biomedical waste. *ISHWM Journal* 5:28–33.
- Villar, I., Alves, D. and Mato, S.** 2016. Seafood Processing Sludge Composting: Changes to Microbial Communities and Physico-Chemical Parameters of Static Treatment versus for Turning during the Maturation Stage. *PLoS One*, 11 (12): e0168590.
- Yasir, M., Aslam, Z., Kim, S.W., Lee, S.W., Jeon, C.O., Chung, Y.R.** (2009a) Bacterial community composition and chitinase gene diversity of vermicompost with antifungal activity. *Bioresour Technol* 100:4396–4403.
- Zhang, D., Chen, Y., Ma, Y., Guo, L., Sun, J. and Tong, J.** 2016. Earthworm epidermal mucus: rheological behavior reveals drag-reducing characteristics in soil. *Soil Tillage Res.* 158: 57–66.
- Zhang, S., Hu, F. and Li, H.,** 2009. Effects of earthworm mucus and amino acids on cadmium subcellular distribution and chemical forms in tomato seedlings. *Bioresour. Technol.* 100: 4041–4046.

*Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos* (PTEOR). Consultado en:

<https://www.tenerife.es/planes/PTEOResiduos/PTEOResiduosindex.htm>