

# CIENCIAS DEL AGUA: perspectiva desde la academia

María del Carmen Jiménez Moleón ✦ José Luis Expósito Castillo  
Marivel Hernández Téllez ✦ Miguel Ángel Gómez Albores

*Coords.*



CIENCIAS DEL  
**A G U A:**  
perspectiva desde la academia



**Universidad Autónoma  
del Estado de México**

Dr. en Ed. Alfredo Barrera Baca  
*Rector*

Dr. en C. I. Amb. Carlos Eduardo Barrera Díaz  
*Secretario de Investigación y Estudios Avanzados*

Dr. en Ing. Daury García Pulido  
*Coordinador del Centro Interamericano de Recursos del Agua*

Dra. en Ing. María Dolores Durán García  
*Directora de la Facultad de Ingeniería*

Mtra. en Admón. Susana García Hernández  
*Directora de Difusión y Promoción de la Investigación  
y los Estudios Avanzados*



**CIENCIAS DEL**  
**AGUA:**  
perspectiva desde la academia

María del Carmen Jiménez Moleón ✎ José Luis Expósito Castillo  
Marivel Hernández Téllez ✎ Miguel Ángel Gómez Albores

*Coords.*

# CIENCIAS DEL A G U A: perspectiva desde la academia

María del Carmen Jiménez Moleón  
José Luis Expósito Castillo  
Marivel Hernández Téllez  
Miguel Ángel Gómez Albores

*Coords.*

1a edición, febrero de 2018

ISBN: 978-607-422-910-3  
ISBN versión digital: 978-607-422-909-7

D. R. © Universidad Autónoma del Estado de México  
Instituto Literario núm. 100 ote.  
Centro, C.P. 50000,  
Toluca, Estado de México  
<http://www.uaemex.mx>

Este libro cuenta con el aval de dos pares externos.

El contenido de esta publicación es responsabilidad de los autores.

En cumplimiento del Reglamento de Acceso Abierto de la Universidad Autónoma del Estado de México, la versión digital de esta obra se pone a disposición del público en el repositorio de la UAEM (<http://ri.uaemex.mx>) para su uso en línea con fines académicos y no de lucro, por lo que se prohíbe la reproducción parcial o total, directa o indirecta del contenido de esta presentación impresa sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito de los editores, en términos de lo así previsto por la *Ley Federal del Derecho de Autor* y, en su caso, por los tratados internacionales aplicables.

Impreso y hecho en México

## Índice

Prólogo.....	11
I. <b>Análisis de la carga por enfermedades diarreicas agudas en el Estado de México 2000-2011</b> .....	13
Nancy Nájera Mota, Miguel Ángel Gómez Albores, Carlos Díaz Delgado, Marivel Hernández Téllez, Carlos Alberto Mastachi Loza, Ninfa Ramírez Durán y Luis Ricardo Manzano Solís	
II. <b>Cultura del agua en la educación básica</b> .....	33
José Luis Miranda Jiménez, Marivel Hernández Téllez, Miguel Ángel Gómez Albores, Alejandro Tonatiuh Romero Contreras, Denise Freitas Soares de Moraes, Martha Carolina Serrano Barquín, Carlos Alberto Mastachi Loza y Héctor Martínez Valdés	
III. <b>Determinación de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero del Valle de Toluca mediante el método SINTACS</b> .....	51
Jorge Paredes Tavares, María Vicenta Esteller Alberich y José Luis Expósito Castillo	
IV. <b>Efecto del pH en la adsorción de un colorante textil usando materiales naturales y modificados</b> .....	67
Perla Tatiana Almazán Sánchez, Ivonne Linares Hernández, Verónica Martínez Miranda y Marcos José Solache Ríos	
V. <b>Electrosíntesis de oxidantes y su aplicación en la desinfección de aguas residuales. Parte I: Generalidades</b> .....	87
Sarai Velazquez Peña, Ivonne Linares Hernández, Verónica Martínez Miranda e Iván Galileo Martínez Cienfuegos	
VI. <b>Electrosíntesis de oxidantes y su aplicación en la desinfección de aguas residuales. Parte II: Metodología de la síntesis</b> .....	105
Sarai Velazquez Peña, Ivonne Linares Hernández, Sergio Humberto Pavón Romero, Verónica Martínez Miranda e Iván Galileo Martínez Cienfuegos	

VII.	<b>Fundamentos teórico metodológicos para un modelo hidrogeomático de indicadores sistémicos en un proceso de gestión integrada de recursos hídricos.....</b>	<b>123</b>
	Luis Ricardo Manzano Solís, Miguel Ángel Gómez Albores, Carlos Díaz Delgado, Carlos Alberto Mastachi Loza, Marivel Hernández Téllez, Denise Freitas Soares de Moraes y Nancy Nájera Mota	
VIII.	<b>Fundamentos y avances en la desinfección del agua residual ....</b>	<b>139</b>
	Sarai Velazquez Peña, Ivonne Linares Hernández, María del Carmen Jiménez Moleón, Marina Islas Espinoza y Mercedes Lucero Chávez	
IX.	<b>Implementación de escenarios hidrogeológicos para definir el diseño óptimo de una red de monitoreo del nivel piezométrico .....</b>	<b>157</b>
	Juan Manuel Esquivel Martínez, María Vicenta Esteller Alberich, Guillermo Pedro Morales Reyes y José Luis Expósito Castillo	
X.	<b>La protección de acuíferos. Un enfoque integral basado en la priorización de focos de contaminación.....</b>	<b>181</b>
	Carolina Massiel Medina Rivas, José Luis Expósito Castillo, Guillermo Pedro Morales Reyes y María Vicenta Esteller Alberich	
XI.	<b>Presencia de flúor y arsénico en agua y su remoción simultánea .....</b>	<b>203</b>
	Guadalupe Vázquez Mejía, Verónica Martínez Miranda y Marcos José Solache Ríos	
XII.	<b>Procesos de oxidación avanzada para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales.....</b>	<b>221</b>
	Perla Tatiana Almazán Sánchez, Ivonne Linares Hernández, Verónica Martínez Miranda y Marcos José Solache Ríos	
XIII.	<b>Revalorización de lodos residuales: 1. Compostaje .....</b>	<b>241</b>
	Adriana Fabiola Tello Andrade, María del Carmen Jiménez Moleón, Gloria Sánchez Galván, José Caballero Viñas y Cristina Burrola Aguilar	
XIV.	<b>Revalorización de lodos residuales: 2. Vermicompostaje .....</b>	<b>261</b>
	José Caballero Viñas, María del Carmen Jiménez Moleón, César Emmanuel García Mejía, Mercedes Lucero Chávez y Adriana Fabiola Tello Andrade	

XV. Sistema de modelos termohidrológicos para la evaluación de la eficiencia en el aprovechamiento de recursos hídricos .....	279
Carlos Díaz Delgado, María Vicenta Esteller Alberich y Carlos Roberto Fonseca Ortiz	
XVI. Sorción de iones fluoruro en columna: fundamentos y materiales .....	299
Elia Alejandra Teutli Sequeira, Guadalupe Candelaria Velázquez Peña, Marcos José Solache Ríos y Verónica Martínez Miranda	
XVII. Tratamiento de un agua residual industrial en un reactor UASB (laboratorio) a baja temperatura .....	319
Adriana Jacobo López, Mario Esparza Soto y Mercedes Lucero Chávez	

Capítulo XIV

**Revalorización de lodos residuales:**

**2. Vermicompostaje**

José Caballero Viñas<sup>1</sup>  
María del Carmen Jiménez Moleón<sup>2\*</sup>  
César Emmanuel García Mejía<sup>3</sup>  
Mercedes Lucero Chávez<sup>4</sup>  
Adriana Fabiola Tello Andrade<sup>5</sup>

\* Autora de correspondencia.

<sup>1</sup> Alumno del Doctorado en Ciencias del Agua del Centro Interamericano de Recursos del Agua de la Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: assam19@yahoo.com

<sup>2</sup> Profesora-Investigadora del Centro Interamericano de Recursos del Agua de la Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: mcjimenezm@uaemex.mx

<sup>3</sup> Alumno de la Maestría en Ciencias del Agua del Centro. Correo electrónico: kosik\_387@hotmail.com

<sup>4</sup> Profesora-Investigadora del Centro Interamericano de Recursos del Agua de la Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: mluceroc@uaemex.mx

<sup>5</sup> Alumna del Doctorado en Ciencias del Agua del Centro Interamericano de Recursos del Agua de la Universidad Autónoma del Estado de México y Profesora de la Facultad de Ingeniería Civil, Zona Xalapa. Universidad Veracruzana. Correo electrónico: ftello@uv.mx

### Agradecimientos

Se agradece el financiamiento otorgado por la FESE (Proyecto 3379/2013E) y la UAEM (Proyectos 3120/2011 y 3449/2013 CHT) para la realización de las investigaciones referidas en este artículo. Asimismo, agradecer la colaboración de la PTAR del centro comercial Galerías en Metepec, Estado de México.

## Introducción

**E**l vermicompostaje es una tecnología basada en la cría intensiva de lombrices para la producción de humus a partir de un sustrato orgánico. Consiste en la bio-oxidación y la estabilización de la materia orgánica por la acción conjunta de lombrices y microorganismos mesófilos en condiciones aerobias. Además de la degradación de materia orgánica por medio de ingestión, las lombrices también ayudan a la penetración de aire y agua en el sustrato debido a su movimiento, permitiendo el desplazamiento de partículas por diferentes estratos y facilitando el movimiento de nutrientes.

El vermicompostaje presenta diversas ventajas con respecto al compostaje convencional, por lo que se suele preferir por las razones siguientes:

- Bajo mantenimiento del proceso (Munroe, 2000: 30; Gajalakshmi, Ramasamy y Abbasi, 2002: 321).
- Descomposición más rápida (Gajalakshmi, Ramasamy y Abbasi, 2002: 321).
- Mejor calidad del producto final, en la promoción del crecimiento de las plantas y el aumento del rendimiento de los cultivos (Atiyeh *et al.*, 2000: 580; Edwards, Dominguez y Arancon, 2004: 2).
- Mayor capacidad del suelo para retener agua tras la aplicación del producto estabilizado (Atiyeh *et al.*, 2000: 589; Edwards, Dominguez y Arancon, 2004: 2).

- No genera producción de residuos tóxicos. Reducción del riesgo de salinización y acidificación del sustrato (Priyanka, 2010: 29).

## **Diseño del vermirreactor**

Cuando se desea diseñar un vermirreactor es necesario considerar los siguientes elementos: a) tipo de sustrato a vermicompostear, b) lugar de la construcción o instalación del vermirreactor y c) tipo de lombriz a utilizar.

### *Tipo de sustrato a vermicompostear*

Se debe considerar que el sustrato representa no solamente el alimento de las lombrices, sino también su hábitat por lo que debe tener una humedad adecuada (70-90%) y alta porosidad ( $0.6 \text{ ton}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Por otro lado, se recomienda un bajo contenido de proteínas y/o nitrógeno, lo que se traduce en una alta relación C/N ( $\approx 30$ ), utilizándose comúnmente el estiércol de diversas especies. Sin embargo, difícilmente un solo sustrato puede proporcionar las características antes mencionadas, y mucho menos por parte de los lodos residuales de las plantas tratadoras de aguas residuales municipales, por lo que generalmente se utilizan materiales adicionales como: residuos de frutas (Singh *et al.*, 2011: 423; Caballero, 2014: 20; Jiménez-Moleón, Caballero y Lucero, 2014: 1), heno (Vasicek, 2013: 4), residuo de maíz (Seyede *et al.*, 2014: 41), periódico (Gupta y Garg, 2009: 430), los lodos de las fábricas de papel (Elvira *et al.*, 1998: 205), hojas (Vasicek, 2013: 4), entre otros. En algunas ocasiones es recomendable hacer un precomposteo del sustrato para que pueda ser más fácilmente digerido por las lombrices, como en el caso del lirio acuático (Gajalakshmi, Ramasamy y Abbasi, 2002: 235) o el estiércol de ovino (Gunadi, Blount y Edwards, 2002: 321). Por ejemplo, no se debe incluir la carne o residuos grasos en la alimentación de las lombrices, a menos que estén precomposteados para romper los aceites y grasas (Ashoke y Lai, 2011: 910).

### *Lugar de la construcción o instalación del vermirreactor*

Si se cuenta con el espacio suficiente, el diseño de un vermirreactor típicamente abarca la construcción de grandes zanjas (figura XIV.1), con longitudes mayores a los 100 metros, anchuras de entre 1-1.5 metros y profundidades que no sobrepasen los 50 cm, ya que la lombriz de tierra

se encuentra generalmente en profundidades no mayores a 40 cm en su hábitat natural (Munroe, 2000: 5). Cuando el espacio es limitado se puede compensar incrementando su ancho (incluso hasta dimensiones cuadradas), por el contrario, un incremento en la profundidad del vermirreactor resulta contraproducente y no es recomendable. Estudios recientes muestran que una alta profundidad (>20 cm) ocasiona bajos niveles de humedad en la superficie (<40%) y en consecuencia las lombrices optan por ocupar solamente los espacios donde los niveles de humedad son más adecuados, retardando con esto el proceso de vermicomposteo (Caballero, 2014: 81).

Por otro lado, el lugar donde se ubique el vermirreactor debe estar alejado de maquinaria pesada “que produzca vibraciones en la tierra”, de depredadores naturales de las lombrices (tales como las aves) o de agentes que puedan destruir o escarbar en los vermirreactores. Finalmente debe estar protegido de la luz, altas (>30°C) o bajas temperaturas (10°C).

Figura XIV.1. Vermirreactor

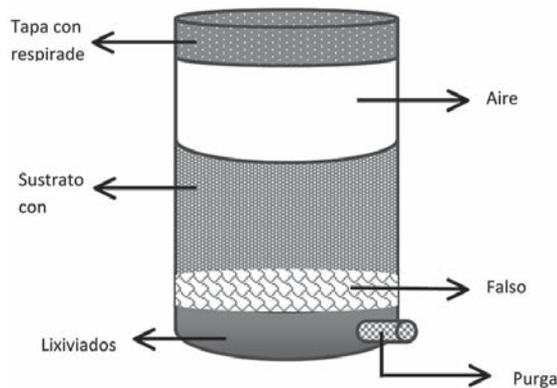


Fotografía digital: archivo de los autores.

En la implementación de un vermirreactor de laboratorio o doméstico se suele adaptar un recipiente (figura XIV.2) o se recurre a diseños comerciales. En cualquier caso, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones (Munroe, 2000: 22; Priyanka, 2010: 31):

- a) Es imprescindible que el vermirreactor cuente con un sistema de drenaje o falso fondo, que permita que el agua no se concentre en el reactor y genere condiciones anaerobias, además dicho sistema puede utilizarse para realizar la colecta de lixiviados, los cuales se pueden reciclar al vermirreactor cuando este requiera mayor humedad o bien retirarlos, dependiendo de la concentración de nutrientes que se desee obtener.
- b) Cubrir la base con una capa de tejas o láminas de polietileno, para evitar que las lombrices se trasladen al fondo.

Figura XIV.2. Esquema de un vermirreactor de laboratorio o doméstico



Técnica digital: archivo de los autores.

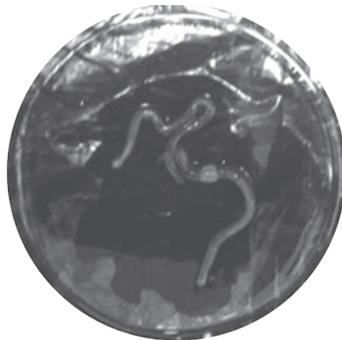
- c) Colocar 15-20 cm de una capa gruesa de material de desecho orgánico sobre la base. Además del sustrato se recomienda, espolvorear roca de fosfato en polvo (si está disponible) en el material de desecho y una pequeña capa de unos 2 cm de estiércol de vaca, ya que esto ayuda a mejorar la calidad nutricional de la mezcla.
- d) Cubrir y proteger el vermirreactor de la luz y, de preferencia, colocarle material adiabático (como unicele), para protegerlo de las bajas temperaturas.
- e) Las lombrices proveen al sistema aireación, sin embargo es conveniente establecer un sistema de ventilación, que puede ser provisto simplemente por un espacio vacío entre la superficie del sustrato y la cubierta del reactor.

### *Tipo de lombriz a utilizar*

Es importante seleccionar los individuos más adecuados para la tarea, se recomienda utilizar lombrices adultas, en el caso de la lombriz roja de california es fácil ubicarlas por su color (rojo-magenta), largo (>10cm) y con clitelo (figura XIV.3). Se recomienda también utilizar individuos que estén acostumbrados a digerir un material parecido al sustrato a utilizar o, en su defecto, aclimatarlos al nuevo sustrato, combinándolo gradualmente con el que estaban ingiriendo. Las especies de lombrices de tierra de uso común en vermicompostaje son: *Eisenia andrei* (gusano tigre rojo o niño inquieto rojo); *Eisenia foetida* (lombriz roja de california); *Eudrilus eugeniae* (lombriz africana o Miñoca); *Lumbricus rubellus* (lombriz roja) y *Perionyx excavatus* (gusano azul de la India). Las lombrices del género "Eisenia" son las dominantes en el vermicompostaje comercial, especialmente en regiones templadas. Si bien la lombriz roja de california es la más utilizada, no está demás decir que no es conveniente introducirla fuera de su propio ecosistema, por los daños ecológicos que podría ocasionar o, en caso de hacerlo, mantenerla estrictamente controlada y aislada. Las principales razones para preferirlas son (Munroe, 2000: 6; Priyanka, 2010: 24):

- Rápido consumo de alimentos y mayores tasas de reproducción
- Supervivencia en una amplia gama de climas (0 a 35°C)
- Capacidad para habitar, consumir y reproducirse en un entorno altamente nutritivo, por ejemplo composta

Figura XIV.3. Lombriz (*Eisenia foetida*) con clitelo



Fotografía digital: archivo de los autores.

### ***Arranque del vermirreactor***

Antes de introducir las lombrices, es necesario verificar que el sustrato tenga la humedad adecuada ( $\approx 70\%$ ). Es importante considerar esto ya que, con la excepción de calor extremo o frío, nada matará más rápido a las lombrices que la falta de una humedad adecuada. La medida del pH antes de la introducción de los individuos es esencial ya que *Eisenia foetida* pueden sobrevivir en un rango de pH de 6 a 8 (Edwards, 1998: 353). Aunque las lombrices prefieren un pH 7 o ligeramente superior (Agnieszka *et al.*, 2013: 79). Asimismo, la evaluación de sales es esencial ya que las lombrices son muy sensibles a ellas, se recomienda una concentración de sales inferior al 0.5% (Gunadi, Blount y Edwards, 2002: 323). Si el sustrato a vermicompostear presenta un alto contenido de sales, se recomienda un proceso de compostaje previo para reducir dicho parámetro (Fornes *et al.*, 2012: 304; Peña, 2014: 71; Caballero, 2014: 16).

Un método empírico para evaluar un sustrato durante el arranque, consiste en exponer el vermirreactor a la luz durante una hora, con el fin de ver si las lombrices optan por enterrarse en el sustrato y mantenerse ahí, en cuyo caso, se puede inferir que el sustrato no es dañino para ellas (Munroe, 2000: 26).

### ***Monitoreo del vermirreactor***

El adecuado monitoreo del vermirreactor es esencial para verificar su buen funcionamiento, así como la detección de posibles problemas durante su actividad. Aun cuando es el método normalizado (NMX-FF-109-SCFI-2008) (DOF, 2008: 16), el monitoreo de humedad de la mezcla durante el vermicompostaje se suele complicar si se opta por realizar un análisis por estufa, ya que requiere que la muestra sea secada durante 24 h, por lo que se sugiere evaluar los niveles de humedad requeridos para su buen funcionamiento (60-70%), mediante la prueba del puño, que consiste en tomar una muestra de residuos con un guante, cerrar la mano, apretar y abrir; si al apretar el puño se caen 2 o 3 gotas y los residuos se mantienen unidos, la pila se encuentra en un intervalo de humedad dentro de lo recomendado, si no, hay que adicionarla, dicha técnica es comúnmente seguida por las personas que se dedican al vermicomposteo comercial (Ravera y de Sanso, 2003: 34, Ruiz, 2011: 16).

Asimismo, se recomienda monitorear el pH y la temperatura al menos una vez por semana y drenar los lixiviados para evitar que los niveles de humedad en el fondo sobrepasasen el 90%. Por otro lado, se recomienda además que, durante el seguimiento del vermicompostaje, se lleve a cabo una revisión visual de los individuos, estos deberán mantener un buen aspecto y fuerza, verificable fácilmente al percibir la manera en que una lombriz se resista a su captura.

En la tabla XIV.1 se presenta un resumen de los principales requerimientos para llevar a cabo el proceso de vermicompostaje. Mientras que en la tabla XIV.2 se muestra una lista de algunos problemas comunes que surgen durante el vermicompostaje con sus posibles causas y soluciones recomendadas.

Tabla XIV.1. Consideraciones para el vermicompostaje

Parámetro	Rango óptimo /Consideración
Humedad	70-80%
Tamaño de partículas, porosidad y densidad de la mezcla	Densidad máxima= 0.6 ton·m <sup>-3</sup>
Relación C/N	30:1
pH	6-8
Concentración de sales	<0.5%
Ventilación adecuada	Las lombrices no sobreviven en condiciones anaeróbicas. Los altos niveles de grasa o el exceso de humedad pueden promover la falta de oxígeno y matar las lombrices.
Sustancias tóxicas	El NH <sub>3</sub> y/o los residuos de carnes o grasas pueden matar a las lombrices.
Temperatura	20-25°C

Fuente: adaptada de Gajalakshmi, Ramasamy y Abbasi (2001: 178); Ramírez y Lina, (2000: 18-19); Atiyeh *et al.* (2000: 581) y Zirbes *et al.* (2011: e21927).

Tabla XIV.2. Problemas y soluciones en lombricompostaje

Problema	Causas	Solución
Malos olores	Sobrealimentación Demasiada humedad Aire insuficiente	Dejar de alimentar por 2 semanas Mezclar por capas Verificar los agujeros de drenaje/ voltear el sustrato
Atracción de vectores	Alimentos podridos Demasiada comida, especialmente cítricos Larvas	Cubrir con soporte nuevo No sobrealimentar las lombrices/ reducir los alimentos ácidos Quitarlas/enterrar el sustrato Removerlos y cambiar ubicación
Las lombrices se están muriendo	Demasiada humedad Poca humedad Temperaturas extremas Aire insuficiente Comida insuficiente	Mezclar con soporte seco/destapar Humedecer Mover el vermirreactor Verificar los respiraderos Agregar más comida-residuo
Las lombrices se están saliendo	Vibraciones pH del sustrato está bajando	Eliminarlas pH<5, cambiar el sustrato

Fuente: Munroe (2000: B1) y Caballero (2014: 28).

## Producto final

La vermicomposta está lista cuando el material se presenta moderadamente suelto, desmenuzable, granular, ligero y de color marrón oscuro, con olor a tierra negra. El pH de la vermicomposta se tiende encontrar en el rango de 6.3 a 7.2.

El humus se debe secar en hileras, en un espacio cerrado y tamizado (diámetro de maya 3 mm), ya que las partículas ya procesadas por la lombriz tienen un diámetro menor. El material que no pase la criba, presumiblemente aún no digerido, puede ser incorporado a la fase de precomposteo. Para separar las lombrices del humus, se suelen utilizar los siguientes métodos:

- *Transferencia gradual.* Aquí dos contenedores son utilizados como alternativa. En el primero se colocan las lombrices con el sustrato.

Posteriormente, se coloca un segundo recipiente preparado con soporte fresco e interconectado al primero, gradualmente las lombrices mudarán de un recipiente al otro. Cuando todos los individuos se encuentren en el segundo recipiente, el primer contenedor contendrá una proporción muy elevada de producto procesado.

- *Separación por luz* (figura XIV.4). Este método utiliza la sensibilidad a la luz por parte de las lombrices y su tendencia a formar madrigueras debajo de la superficie con el fin de escapar de las fuentes de luz. El material se extiende sobre una superficie expuesta a una fuente de luz, esto hace que los individuos rápidamente bajen hacia la madriguera y permite la remoción del material superficial como vermicomposta.

Figura XIV.4. Separación de las lombrices utilizando una fuente de luz



Fotografía digital: archivo de los autores.

Así, una vez que las lombrices han mudado al fondo, se procede a retirar por capas, al final, la delgada capa inferior contendrá a todas las lombrices.

La calidad de la vermicomposta variará de acuerdo con la fuente de alimento, proceso que se utilizó para la producción y las post-prácticas de procesamiento (secado y cribado). Sin embargo, el humus de lombriz contiene principalmente las siguientes características (Atiyeh *et al.*, 2000: 588, Edwards, Dominguez y Arancon, 2004: 51):

- *Alto nivel de nutrientes disponibles para las plantas.* En tanto que la composta convencional es mayor en cantidades de amonio, la vermicomposta tiende a ser mayor en nitratos. Asimismo, la cantidad de nutrientes, incluyendo P, K, S y Mg, es mayor en el humus de lombriz.
- *Nivel de microorganismos benéficos.* La vermicomposta es 1 000 veces más rica en vida microbiana activa que la composta convencional.
- *Capacidad de estimular el crecimiento de las plantas.* Atiyeh et al. (2000: 289) demostraron consistentemente que los residuos orgánicos de la lombricomposta tienen efectos beneficiosos sobre el crecimiento de plantas debido a su riqueza en nutrientes. Utilizada como abono, la vermicomposta mejoró de forma constante la germinación de semillas, así como el aumento del crecimiento y el desarrollo de plantas y especies vegetales.
- *Capacidad para suprimir enfermedades.* Los altos niveles de microorganismos benéficos en el humus ayudan a proteger a las plantas de patógenos y también bloquean el acceso a las raíces de las plantas ya que tienden a ocupar todos los sitios disponibles.

La calidad del humus de lombriz está regulada en México por la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 (DOF, 2008: 9), a continuación se muestran los límites máximos permisibles en cuanto a contaminación microbiológica (tabla XIV.3), y las especificaciones fisicoquímicas que debe de cumplir el humus de lombriz (tabla XIV.4).

Tabla XIV.3. Límites máximos permisibles para especificaciones microbiológicas (Lombricomposta)

Microorganismo	Tolerancia
<i>Escherichia coli</i>	≤ 1000 NMP por g en base seca
<i>Salmonella spp</i>	3 NMP por 4g, en base seca
Huevos de helmintos viables	1 por 4g, en base seca
Hongos Fitopatógenos	Ausente

Fuente: DOF (2008: 9).

Tabla XIV.4. Especificaciones Fisicoquímicas del humus de lombriz

Característica	Valor
Nitrógeno total	De 1 a 4% (base seca)
Materia orgánica	De 20 a 50% (base seca)
Relación C/N	$\leq 20$
Humedad	De 20 a 40% (sobre materia húmeda)
pH	De 5.5 a 8.5
Conductividad eléctrica	$\leq 4$ dS/m
Capacidad de intercambio catiónico	$>40$ cmol/kg
Densidad aparente sobre materia seca	0.4 a 0.9 g/mL
Materiales adicionados	Ausente

Fuente: DOF (2008: 9).

## Vermicompostaje de alta tasa

El reactor de alta tasa es una tendencia relativamente reciente. Consiste en utilizar una mayor cantidad de lombrices de las utilizadas normalmente (20 adultos/L sustrato) para acelerar la producción de humus y tratar mayores cantidades de sustrato. En condiciones ideales, las lombrices pueden consumir más de la mitad de su peso corporal por día, lo que significa que la cantidad de humus producida con respecto al tiempo es directamente proporcional al número de lombrices contenidas en el vermirreactor, siempre que el sustrato sea aprovechable. En síntesis, para elevar la calidad del sustrato final se recomienda incrementar el tiempo de retención y utilizar mayores densidades de lombriz.

El primer trabajo encontrado con mayor densidad de lombriz que la convencional pertenece a Datar, Rao y Reddy, (1997: 89), quienes investigaron los efectos de utilizar 28, 46 y 65 lombrices/L (*E. eugeniae*) en el vermicomposteo de lodos residuales, encontrando que el aumento de la zoomasa trajo como consecuencia la mejora directa en la producción de humus. Sin embargo, quienes acuñaron el término de alta tasa fueron Gajalakshmi, Ramasamy y Abbasi, (2002: 235), ellos desarrollaron un método para tratar lirio acuático precompostado en vermirreactores con *Eudrilus eugeniae*, utilizando diferentes densidades de lombriz (50, 62.5,

75, 87.5, 100, 112.5, 125, 137.5 y 150 lombrices/L). Los resultados mostraron que a medida que subió el número de lombrices en los reactores, la producción de vermicomposta se incrementó continuamente, pasando de 46.6% (para el convencional) a 93.4% (150 lombrices/L).

En la tabla XIV.5, se presenta un compendio de diversos estudios de vermirreactores operados en alta tasa. Se puede apreciar que a mayor densidad poblacional la producción de humus se vio beneficiada. Sin embargo, diversos autores han reportado que en algunos casos lo que se ve afectado es la reproducción de la lombriz al incrementar la densidad de población. Por ejemplo, para *Eisenia foetida* la tasa de reproducción fue inversamente proporcional a la cantidad de individuos contenidos en el vermirreactor cuando se utilizó una densidad de lombriz mayor a 50 lombrices/L, vermicomposteando lodos primarios (Hait y Vinod, 2011: 2812) y lodos secundarios con lirio acuático seco (Caballero, 2014: 79).

Tabla XIV.5. Resultados de diversos vermirreactores operados en alta tasa

Autor	Lombriz (Densidad, lombrices/L)	Sustrato	Observaciones
Datar, Rao y Reddy (1997:89)	<i>Eudrilus eugeniae</i> (28-65)	Lodos residuales	El crecimiento de las lombrices disminuyó a medida que subió la densidad de población y en contraparte se incrementó la producción de humus
Ndegwa, Thompson y Das (2000: 5)	<i>Eisenia foetida</i> (20-50)	Composta de basura orgánica	El incremento de la densidad de población generó una mayor producción de humus
Gajalakshmi, Ramasamy y Abbasi (2002: 235)	<i>Eudrilus eugeniae</i> (50-150)	Precomposta de lirio acuático y estiércol de vaca	Aumento de producción desde un 46.6 % (50 lombrices/L) a 93.4% (150 lombrices/L)
Hait y Vinod (2011: 2812)	<i>Eisenia foetida</i> (75-125)	Lodo primario precompostado	75 Lombrices/L: densidad de población más favorable considerando producción y reproducción

## Conclusiones

El vermicompostaje consiste en la degradación de la materia orgánica, a través de la actividad conjunta de lombrices y microorganismos, está considerado como una tecnología limpia, sin impacto ambiental y cuyos costes de inversión, energéticos y de mantenimiento son relativamente bajos. En su implementación no se recomienda el uso de lombrices no nativas de la región donde se trabaje. En caso de hacerlo se debe mantener a las lombrices estrictamente controladas y aisladas.

Difícilmente un solo sustrato puede proporcionar los nutrientes (C y N, principalmente) y características fisicoquímicas requeridas en el vermicompostaje, por lo que generalmente se aconsejan materiales adicionales (enmienda y/o soporte) como residuos de frutas, hojas, entre otros. En ocasiones, cuando el material es lentamente biodegradable, como es el caso del lirio acuático y con las altas concentraciones de aceites y grasas se vuelve dañino para las lombrices, por eso es recomendable hacer un precomposteo del sustrato.

Una mayor población de lombriz en los vermirreactores permite tratar mayores cantidades de sustrato en un menor tiempo, sin embargo, puede provocar un decremento o nulidad en la reproducción.

El producto final puede ser utilizado como regenerador de suelos, ya que favorece la producción de sustancias húmicas, así como la posible producción de reguladores de crecimiento de plantas. El humus de lombriz contiene una mayor cantidad de nutrientes disponibles para las plantas (P, K, S y Mg) en comparación con un proceso de composteo.

## Bibliografía

- Agnieszka, P. et al. (2013). "Composting of Oiled Bleaching Earth: Fatty Acids Degradation, Phytotoxicity and Mutagenicity Changes", en *International Biodeterioration & Biodegradation*, 78, pp. 49-57.
- Ashoke, D. y K. M. Lai (2011). "Design and Application of a Pre-composting Test Step to Determine the Effect of High Fat Food Wastes on an Industrial Scale In-vessel Composting System", en *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65 (6), pp. 906-911.

- Atiyeh, R. M. et al. (2000). "Effects of Vermicomposts and Composts on Plant Growth in Horticultural Container Media and Soil", en *Pedobiologia*, 44, pp. 579-590.
- Caballero, J. (2014). "Estudio de los efectos de la densidad de lombriz y la relación superficie/volumen en un vermirreactor de alta tasa, alimentado con lirio acuático seco y lodo residual precomposteados". Tesis de Doctorado. CIRA / UAEM, Toluca, México, pp. 13-42.
- Clarke, W., M. Taylor y R. Cossins (2007). "Evaluation by Respirometry of the Loading Capacity of a High Rate Vermicompost Bed for Treating Sewage Sludge", en *Bioresource Technology*, 98 (13), pp. 2611-2618.
- Datar, M. T., M. N. Rao y S. Reddy (1997). "Vermicomposting - A Technological Option for Solid Waste Management", en *Solid Waste Technol*, 24 (2), pp. 89-93.
- DOF (2008). NMX-FF-109-SCFI-2008. "Humus de lombriz (lombricomposta). Especificaciones y métodos de prueba", en *Diario Oficial de la Federación*, México, pp. 12-24.
- Edwards, C. (1998). "The Use of Earthworms in the Breakdown and Management of Organic Wastes", en C. A. Edwards (ed.). *Earthworm Ecology*. St. Lucie Press, Boca Raton, pp. 327-354.
- Edwards, C., J. Dominguez y N. N. Arancon (2004). "Vermicomposts Suppress Plant Pest and Disease Attacks", en *Rednova News*. Disponible en <http://www.rednova.com> [mayo de 2014].
- Elvira, C. et al. (1998). "Vermicomposting of Sludges from Paper Mill and Dairy Industries with Eisenia Andrei: A Pilot-scale Study", en *Bioresource Technology*, 63 (3), pp. 205-211.
- Fornes, F. et al. (2012). "Composting Versus Vermicomposting: A Comparative Study of Organic Matter Evolution Through Straight and Combined Processes", en *Bioresour Technol*, 118, pp. 296-305.
- Gajalakshmi, S., E. V. Ramasamy y S. A. Abbasi (2001). "Potential of Two Epigeic and Two Anecic Earthworm Species in Vermicomposting of Water Hyacinth", en *Bioresource Technology*, 76 (3), pp. 177-181.

- \_\_\_\_\_ (2002). "High-rate Composting-vermicomposting of Water Hyacinth (*Eichhorniacrassipes*, Mart. Solms)", en *Bioresource Technology*, 83, pp. 235-239.
- Gunadi, B., C. Blount y C. A. Edwards (2002). "The Growth and Fecundity of *Eisenia Fetida* (Savigny) in Cattle Solids Pre-composted for Different periods", en *Pedobiologia*, 47, pp. 321-329.
- Gupta, E. y V. Garg (2009). "Vermiremediation and Nutrient Recovery of Non-recyclable Paper Waste Employing *Eisenia Fetida*", en *Journal of Hazardous Materials*, 162, pp. 430-439.
- Hait, S. y V. Tare (2011). "Vermistabilization of Primary Sewage Sludge", en *Bioresource Technology*, 102, pp. 2812-2820.
- Jiménez Moleón, M. C., J. Caballero y M. Lucero (2014) "Efecto del material de enmienda sobre la composta de lodo residual y lirio acuático". *Memorias del XIII Congreso Internacional y XIX Congreso de Ciencias Ambientales*, Acapulco, México, pp. 2659-2665.
- Kharrazi, S. M., H. Younesi y J. Abedini-Torghabeh (2014). "Microbial Biodegradation of Waste Materials for Nutrients Enrichment and Heavy Metals Removal: An Integrated Composting-vermicomposting Process", en *International Biodeterioration & Biodegradation*, 92, pp. 41-48.
- Munroe, G. (2000). "Manual of On-farm Vermicomposting and Vermiculture", en *Organic Agriculture Centre of Canada*. Disponible en [http://www.organicagcentre.ca/DOCs/Vermiculture\\_FarmersManual\\_gm.pdf](http://www.organicagcentre.ca/DOCs/Vermiculture_FarmersManual_gm.pdf). [abril de 2013].
- Ndegwa, P. M., S. A. Thompson y K. C. Das (2000). "Effects of Stocking Density and Feeding Rate on Vermicomposting of Biosolids", en *Bioresource Technology*, 71, pp. 5-12.
- Peña, P. (2014). "Efecto la dosis adicionada y la presentación de lirio acuático sobre la composta de lodo residual municipal". Tesis de Maestría. CIRA / UAEM, Toluca, México.
- Priyanka (2010). "Thesis on Management of Water Hyacinth Biomass Along with Industrial Effluents Through Mushroom Culturing & Vermicomposting", en *Department of Biotechnology & Environmental Sciences Thapar*, pp. 11-85.

- Ramírez, E. y C. Lina (2000). "Composteo de lodos", en *Curso Teórico-Práctico de Tratamiento de lodos residuales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Cuernavaca, s. p.
- Ravera, R. y A. de Sanso (2003). "Lombricultura". Disponible en [www.agroconnection.com/specialites/5054A00281.htm](http://www.agroconnection.com/specialites/5054A00281.htm). [marzo de 2012].
- Ruiz, M. (2011). "Taller de elaboración de lombricomposta", en *ULA publicaciones* (ed.). ULA / Universidad Iberoamericana, A.C. México, s. p.
- Singh, R. et al. (2011). "Management of Biomass Residues Generated from Palm Oil Mill: Vermicomposting a Sustainable Option", en *Resources Conservation and Recycling*, 55 (4), pp. 423-434.
- Vasicek, A. (2013). "Capacitación para el reciclado de residuos", en *Orgánicos*. Disponible en <http://www.usodelsuelo.unlp.edu.ar/CAPACITACION.pdf> [noviembre 2013].
- Zirbes, L. et al. (2011). "Earthworms Use Odor Cues to Locate and Feed on Microorganisms in Soil", en *PLoS ONE*, 6 (7), e21926-e21929.