

Producción de abonos
orgánicos en vermicultivo a
partir de residuos agrícolas



Tecnoparque
nodo La Angostura

SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

ISBN:978-958-15-0421-3

Producción de abonos orgánicos en vermicultivo a partir de residuos agrícolas



Tecnoparque
nodo La Angostura

SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Producción de abonos orgánicos en vermicultivo a partir de residuos agrícolas

Leidy Juliana Valenzuela Cifuentes

Eduardo Pastrana

Carlos Alberto Cruz Ramírez

Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)

2018



Tecnoparque
nodo La Angostura



Producción de abonos orgánicos en vermicultivo a partir de residuos agrícolas

ISBN: 978-958-15-0421-3

© Leidy Juliana Valenzuela Cifuentes, Eduardo Pastrana, Carlos Alberto Cruz Ramírez.

© SENA

© Centro de Formación Agroindustrial La Angostura

Servicio Nacional de aprendizaje

Directivos SENA

Carlos Mario Estrada Molina

Director General

Farid de Jesús Figueroa Torres

Director de Formación Profesional

Emilio Eliécer Navia Zúñiga

Coordinador Grupo de Gestión Estratégica de la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA)

Luis Alberto Tamayo Manrique

Director Regional - SENA Regional Huila

Cándido Herrera González

Subdirector - Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
SENA Regional Huila

Germán Barrios Cruz

Coordinador Académico - Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
SENA Regional Huila

Isaías Farfán Collazos

Coordinador Formación Profesional Centro de Formación Agroindustrial La Angostura SENA Regional Huila

Claudia Mercedes Ordoñez Espinosa

Líder SENNOVA, Líder grupo de investigación Agroindustrial

Coordinación editorial: Sílabá Editores SAS

Corrección de textos: Rubelio López

Diseño y diagramación: Juan Carlos Vélez S.

Centro de Formación Agroindustrial La Angostura

Dirección: Kilómetro 38 vía al sur de Neiva, Campoalegre (Huila)

Teléfonos: (578) 8380191 - 8385060

<http://sena.edu.co/regionales-y-centros-de-formacion/zona-andina/Huila/Paginas/Huila.aspx>

www.centroagroindustrial.blogspot.com.co

www.centroagroindustrial.blogspot.com

Impreso en Panamericana Formas e Impresos S. A. / Printed and made in Colombia.

Se autoriza la reproducción total o parcial de la obra para fines educativos siempre y cuando se cite la fuente.

Catalogación en la publicación. SENA Sistema de Bibliotecas

Valenzuela Cifuentes, Leidy Juliana

Producción de abonos orgánicos en vermicultivo a partir de residuos agrícolas / Leidy Juliana Valenzuela Cifuentes, Eduardo Pastrana, Carlos Alberto Cruz Ramírez. -- Campoalegre, Huila : Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, 2018.

1 recurso en línea (39 páginas : PDF).

Referencias bibliográficas: página 38.

Contenido: Establecimiento de diseño experimental y montaje de vermicompostaje de residuos agrícolas -- Análisis de calidad de abonos orgánicos.

ISBN: 978-958-15-0421-3.

1. Abono orgánico--Investigaciones 2. Lombricultura--Investigaciones I. Pastrana, Eduardo II. Cruz Ramírez, Carlos Alberto III. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

CDD: 631.86



Contenido

Prólogo.....	6
Introducción.....	8
Capítulo 1	
Establecimiento de diseño experimental y montaje de vermicompostaje de residuos agrícolas.....	13
Modelo general de biodegradación.....	14
Condiciones Ambientales.....	14
Ubicación del ensayo.....	14
Colección de residuos agrícolas y domésticos.....	15
Construcción de camas en guadua para vermicompostaje.....	17
Determinación de parámetros físico-químicos asociados al proceso de vermicompostaje.....	20
Establecimiento de banco de cepas microbianas con potencial aplicación a procesos biotecnológicos en agricultura.....	22
Evaluación de la composición nutricional de lixiviados y abono orgánico derivado de los procesos de vermicompost.....	24
Capítulo	
Análisis de calidad de abonos orgánicos.....	26
Comportamiento de la temperatura y pH durante el proceso de vermicompostaje.....	27
Valor nutricional de lixiviados derivados del proceso de vermicompostaje.....	29
Valor nutricional de abono orgánico derivado del proceso de vermicompostaje.....	34
Agradecimientos.....	37
Referencias bibliográficas.....	38

Prólogo

El manejo de residuos de cosecha bajo esquemas de compostaje para el retorno de nutrientes al suelo está tomando cada vez más importancia, debido a los altos niveles de erosión edáfica y fertilización de síntesis química necesaria para sostener la seguridad alimentaria mundial. Las prácticas sostenidas de monocultivo, labranza intensiva, quema de residuos de cosecha, fertilización indiscriminada, y bajo conocimiento de las dinámicas nutricionales planta-suelo-microorganismo-ambiente, encargadas de gobernar los ciclos biogeoquímicos en el suelo, han conducido a una pérdida estimada de 50 toneladas de materia orgánica (MO) por hectárea en la mayoría de agroecosistemas, desde la Revolución industrial. En Colombia, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) ha reportado niveles dramáticos de erosión edáfica en aproximadamente el 50 % del área nacional, lo que corresponde, precisamente, con las áreas de mayor producción agropecuaria. Si a esta situación sumamos una disminución progresiva de MO, podemos inferir entonces que la ausencia de prácticas integrales de recuperación de MO en suelo provocará una disminución en el balance nutricional y en la productividad agrícola, haciendo que el uso de agroquímicos se intensifique.

Esta situación ha impulsado el desarrollo de nuevos y mejores procesos de compostaje para la obtención de abonos orgánicos inocuos que aporten a la recuperación del perfil orgánico en el suelo. Es el caso del vermicompost desarrollado mediante la interacción de lombrices de tierra y microorganismos que convierten eficientemente diferentes tipos de material orgánico en enmiendas altamente nutritivas. Este documento describe el proceso de generación de abono orgánico enriquecido a partir de bovinasa y residuos de la cosecha de arroz, considerados como desecho debido a su baja tasa de degradación ambiental, lo que ha conllevado a toda suerte de prácticas que van en deterioro del suelo, el ambiente y la salud pública (por ejemplo, la quema de residuos de cosecha a campo abierto). Igualmente, se dejan sentadas las bases para el desarrollo de nuevos abonos a partir de residuos agrícolas o agroindustriales derivados de la producción agropecuaria regional.

Introducción

Anualmente se generan cantidades considerables de residuos sólidos de origen agrícola, doméstico e industrial con altos impactos ambientales, especialmente, en el cambio climático y el balance ecológico (Lim y Wu, 2016). Si bien los residuos agrícolas representan el mayor reservorio de carbono orgánico en el planeta, su baja tasa de biodegradabilidad conduce al empleo de prácticas de manejo inadecuadas que vulneran la sostenibilidad del suelo, el ambiente y la salud pública. El tamo de arroz (figura 1a) es uno de los residuos agrícolas lignocelulósicos más abundantes en el planeta, luego de los residuos producidos por el cultivo de maíz y trigo. Según la FAO, para el año 2017 la producción mundial de arroz alcanzó 741 millones de toneladas, de las cuales por cada kilogramo de grano cultivado se produjo entre 1 y 1,5 kilogramos de tamo (741-1110 millones de toneladas de residuo). En Colombia, la producción promedio de este cereal en la última década, según estadísticas de FEDEARROZ, ha sido de 2.290.997 toneladas en un área aproximada de 488.179 hectáreas, lo que supone al menos igual producción de tamo de arroz.



Figura 1a. Tamo de arroz. Figura 1b. Manejo del tamo de arroz mediante quemas a campo abierto. Fuente: Pixabay.

La quema de este residuo a campo abierto (figura 1b) es la práctica más empleada en los países productores de arroz a nivel mundial (Abril *et al.*, 2009), la cual ha estado sustentada en el mantenimiento del régimen fitosanitario del cultivo al evitar la propagación de hongos fitopatógenos como *Sclerotium oryzae* (California-EEUU) (Kadam *et al.*, 2000), en la disminución de los tiempos de preparación del terreno para las nuevas siembras, y en la inmovilización de nutrientes en biomasa microbiana, reduciendo la productividad del cultivo por competencia (Dobermann y Fairhurst, 2002). Sin embargo, se conoce que esta estrategia de manejo también ha conducido a la pérdida significativa de nutrientes valiosos para el establecimiento de nuevos ciclos de cultivo (Eun *et al.*, 2006), así como al deterioro de la materia orgánica en el suelo, pérdida de biodiversidad, pérdida en la formación de agregados

y retención de agua, y a la generación de gases de efecto invernadero nocivos para el ambiente (CO , CO_2 , CH_4 , NO_x , N_2O , SO_2) y la salud pública (carcinogénicos, como el dibenzo-p-dioxinas clorinadas y dibenzofuranos diclorinados) (Kaewpradit *et al.*, 2009; Dobermann y Fairhurst, 2000).

La materia orgánica (MO) es uno de los componentes más importantes del suelo y proviene de la descomposición de animales, plantas y microorganismos: hojas, raíces muertas, exudados, estiércoles, orín, plumas, pelo, huesos, animales muertos, productos de microorganismos, como bacterias, hongos, nematodos que aportan al suelo sustancias orgánicas o sus propias células al morir. Estos materiales inician un proceso de descomposición o de mineralización, y cambian de su forma orgánica a una inorgánica (mineral, soluble o insoluble); posteriormente, fluyen por la solución de suelo y, finalmente, son aprovechados por las plantas y organismos, o estabilizados hasta convertirse en humus, mediante el proceso de humificación. Una de las estrategias más llamativas para mitigar las malas prácticas de manejo de residuos agrícolas y recomponer el perfil orgánico del suelo es la producción e inclusión de abonos orgánicos estables, inocuos y con alto valor nutricional. No obstante, la alta relación carbono:nitrógeno (C:N) de la mayoría de residuos agrícolas, y su alto contenido de ligninas y sílice, hace necesario el desarrollo de procesos de compostaje eficientes asistidos por la actividad de mesofauna especializada en su descomposición.

■ Lombriz de tierra (*Eisenia foetida*)



Figura 2. Lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) empleada en procesos de vermicompost.

Fuente: Pixabay.

Las lombrices de tierra son anélidos oligoquetos pertenecientes a la especie *Eisenia foetida*, con un tamaño promedio de 7 a 8 centímetros. Presentan un cuerpo formado por segmentos llamados anillos o metámeros que están recubiertos de sedas, o pequeñas cerdas, que la lombriz usa para remover y escarbar la tierra (figura 2). La lombriz de tierra es de color gris rojizo. Estos organismos realizan un mecanismo de ingestión y biodegradación de residuos orgánicos, y a la vez promueven el crecimiento de bacterias descomponedoras, ya que actúan como aireador, molino, triturador, degradador químico y estimulador biológico (Sinha *et al.*, 2002). Su cuerpo contiene 65 % de proteína, 14 % de grasa, 14 % de carbohidratos y 3 % de cenizas. La distribución de las lombrices de tierra depende de factores como la humedad del sustrato y la disponibilidad de MO y pH. Las

lombrices son tolerables a la salinidad moderada y a los productos químicos tóxicos en el ambiente; incluso se ha demostrado que tienen bioacumulación de dioxinas en los tejidos, y que soportan altas concentraciones de metales pesados (Sinha *et al.*, 2008).

Durante el proceso de descomposición de MO suceden dos procesos simultáneos, uno microbiano y otro asistido por lombrices, ya que las lombrices estimulan y aceleran la actividad antimicrobiana mediante el aumento de la población de microorganismos del suelo y, además, mejoran la aireación por acción de sus madrigueras (Binet *et al.*, 1998). Los excrementos de las lombrices se caracterizan por presentar una concentración considerable de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, ya que albergan millones de microbios biodegradadores en su intestino (Singleton *et al.*, 2003).

Capítulo 1

Establecimiento de
diseño experimental
y montaje de
vermicompostaje de
residuos agrícolas

■ Modelo general de biodegradación

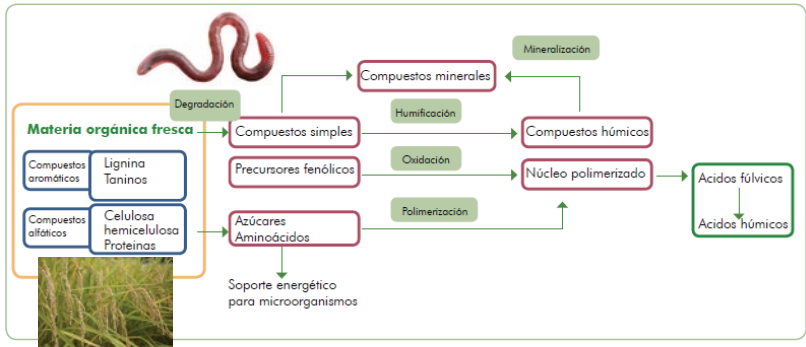


Figura 3. Proceso general de vermicompostaje. Fuente: Adaptado de FAO (2013).

■ Condiciones Ambientales

Tabla 1. Condiciones ambientales requeridas para el proceso de vermicompostaje (Adaptado de FAO, 2013)

Parámetro	Rango ideal
Humedad	70%-80%, ésta es la humedad máxima, ya que la lombriz respira por la piel, y una humedad mas alta impediría su respiración.
Temperatura	20-30°C
pH	5-8,5. Se debiera verificar con una cinta indicadora el pH antes de alimentar la lombriz
Luz	La lombriz es fotosensible, por lo que siempre preferirá ambientes oscuros.

■ Ubicación del ensayo

Los procesos de vermicompostaje fueron ejecutados en la Unidad de Abonos Orgánicos del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, bajo coordinación del Tecnoparque, línea de Biotecnología y Nanotecnología, kilómetro 38, vía al sur de Neiva, Campoalegre, Huila (figura 4a, 4b, 4c y 4d).

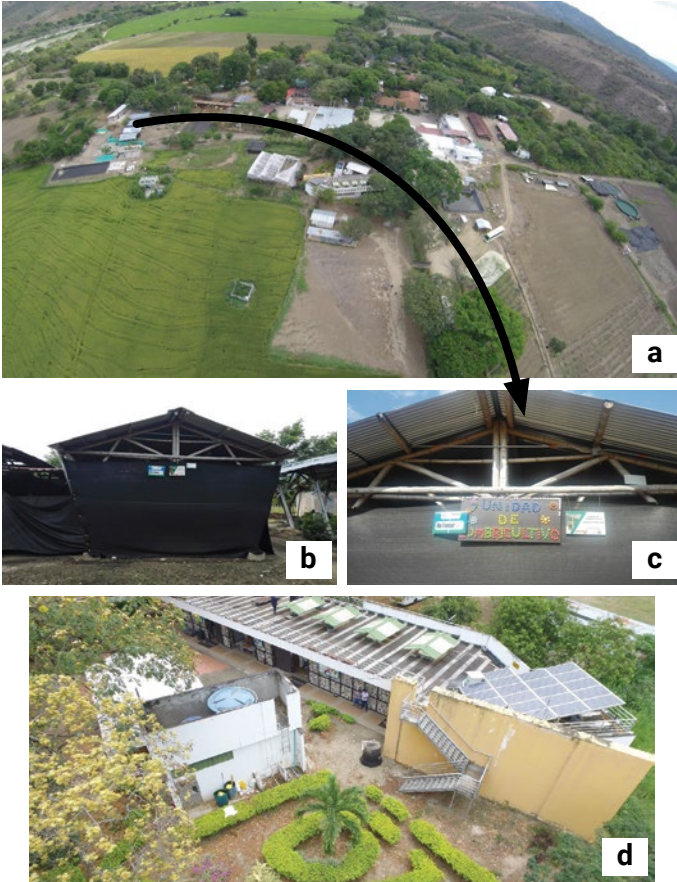


Figura 4a. Consolidación de la Unidad Productiva de Abonos Orgánicos-Área Vermicompostaje del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura. **Figuras 4b, 4c y 4d.** Área de acompañamiento técnico-científico Tecnoparque.

■ Colección de residuos agrícolas y domésticos

Se colectó tamo de arroz de la variedad de Fedearroz 67 de la finca El Limonar, Campoalegre, Huila (figuras 5a y 5b). Se colectó 47 kilos de tamo de arroz, los cuales fueron picados a un tamaño de partícula promedio de 1 cm, para la incorporación en el proceso de vermicultivo.



Figuras 5a y 5b. Recolección de tamo de arroz en campo, pesaje y corte.

Se colectaron cáscaras de fruta para la alimentación de lombrices, procedentes de la cafetería del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, y plaza de mercado (Campoalegre, Huila) (figuras 6a y 6b).



Figuras 6a y 6b. Recolección, pesaje y disposición de cáscaras de fruta para alimentación de lombriz californiana.

Luego de procesar las materias primas, se estableció el siguiente diseño experimental completamente aleatorio, con tres réplicas por tratamiento:

- 1. Tratamiento 1:** Bovinasa + 6 kilos de tamo de arroz + 1 kilo de lombriz.
- 2. Tratamiento 2:** Bovinasa + 3 kilos de tamo de arroz + 1 kilo de lombriz.
- 3. Testigo:** Bovinasa sin tamo de arroz + 1 kilo de lombriz.

■ Construcción de camas en guadua para vermicompostaje

Las unidades experimentales fueron establecidas sobre camas en guadua de 1 m de ancho por 2 m de largo, 70 cm de alto con un volumen efectivo de 14 m³ y una inclinación de 20 % (figuras 7a, 7b y 7c). Las camas fueron cubiertas con plástico transparente y negro, y cerradas con tapas de guadua y polisombra para reducir la propagación de plagas. Se diseñaron embudos con botellas PET conectadas a una manguera para la colección continua de lixiviado.



Figuras 7a, 7b y 7c. Recolección de guadua y construcción de camas para vermicompostaje.

En cada cama se dispusieron 120 kg de bovinasa compostada, y sobre esta base se incorporaron las materias primas anteriormente descritas por tratamiento. La mezcla se realizó manualmente hasta garantizar la homogeneización del material. Luego se realizó conteo y pesaje de las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) provistas por el Centro de Formación Agroindustrial La Angostura (figuras 8a, 8b y 8c). Cada cama fue inoculada con 1 kg de lombriz y humectada con 5 litros de agua. La humedad se mantuvo constante

según requerimiento. Los procesos de vermicompostaje fueron mantenidos por 50 días bajo cubierta de polisombra, con volteos periódicos cada 2 días y alimentación con cáscara de fruta cada 2-4 días. Posteriormente, se suspendió la alimentación por ocho días adicionales manteniendo una humedad constante. Al término del proceso, se tomó muestras compuestas de cada unidad experimental para el desarrollo de análisis de laboratorio por características fisicoquímicas y nutricionales, en la Unidad de Servicios Tecnológicos del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura (figuras 9a, 9b y 9c).



Figuras 8a, 8b y 8c. Conteo, pesaje y adición de lombriz roja californiana a camas de vermicompostaje.



Figuras 9a, 9b y 9c. Unidades experimentales funcionales en área de abonos orgánicos.

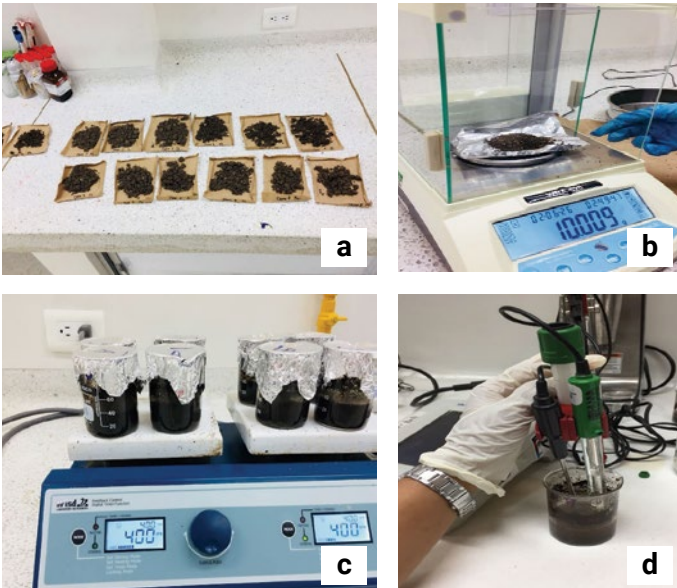
■ Determinación de parámetros físico-químicos asociados al proceso de vermicompostaje

Para la estimación del comportamiento de pH en las camas de vermicompost, se tomó muestras de abono orgánico en 3 puntos (en zigzag) por cama por tratamiento (figuras 10a, 10b y 10c), para un total de 27 muestras. Las muestras fueron colectadas en bolsas *zip-lock*, llevadas inmediatamente al Laboratorio de Química del complejo de Ciencias Básicas del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, y secadas a temperatura ambiente (aproximadamente 27 °C) por dos días. Posteriormente, las muestras fueron tamizadas en criba de 0,2 mm. Se pesaron 10 gramos de muestra tamizada y se depositaron en un *beaker* de 50 ml. Se adicionaron 30 ml de agua destilada a cada muestra, y se agitaron a 200 rpm por 1 hora. Finalmente, se determinó el valor de pH de las suspensiones empleando un potenciómetro de mesa (figuras 11a, 11b, 11c y 11d). Por otra parte, la temperatura fue estimada

continuamente durante el proceso de vermicompost en los puntos de muestreo enunciados anteriormente, empleando un termómetro digital infrarrojo.



Figuras 10a y 10b. Toma de muestra para determinación de pH en camas de vermicompost. Las flechas indican los sitios de toma de muestra.



Figuras 11a, 11b, 11c y 11d. Procesamiento de muestras para determinación del comportamiento de pH durante el proceso de vermicompostaje. **a.** Secado; **b.** Pesaje; **c.** Suspensión y agitación; **d.** Determinación de pH con potenciómetro.

■ Establecimiento de banco de cepas microbianas con potencial aplicación a procesos biotecnológicos en agricultura

Con el fin de determinar las bacterias presentes en el vermicompost con potencial de promoción de crecimiento vegetal como fijación de nitrógeno (N) y solubilización de fósforo (P), se realizaron diluciones seriadas en agua péptonada al 2 % (p/v). La estimación de poblaciones microbianas se realizó mediante la técnica de microgota, mediante la siembra de 10 μ l (por triplicado) de diluciones de 10^{-6} hasta 10^{-8} en la misma caja de agar.

Se evaluaron los siguientes medios de cultivo:

- **Asbhy:** Aislamiento de *Azotobacter* spp. capaces de usar el manitol y el N atmosférico como fuente de C y N, respectivamente.
- **Pikovskaya:** Aislamiento de bacterias solubilizadoras de P. En nuestro caso se empleó fosfato tricálcico como única fuente de P.
- **Cetrimide:** Aislamiento de bacterias gram-negativas tipo *Pseudomonas aureginosa*.
- **Cromocult:** Aislamiento de bacterias coliformes.
- **MacConkey:** Aislamiento de enterobacterias.
- **Trypticase de soya (TSA):** Aislamiento de bacterias gram-positivas, particularmente bacterias aerobias formadoras de endospora (BAFEs).

➤ **King B:** Aislamiento de *Pseudomonas* spp.

Los agares fueron incubados por 12-24 horas para bacterias mesófilas con alta tasa metabólica (por ejemplo BAFEs), y de 3 a 5 días para bacterias con metabolismos reducidos (por ejemplo fijadores de N). Posteriormente, se realizó el conteo de unidades formadoras de colonia (UFC) por mililitro. Los aislamientos obtenidos fueron evaluados por microscopía óptica y conservados en refrigeración (-80 °C) mediante el empleo de crio-tubos con glicerol.

Se realizó muestreo compuesto a cada cama y se empleó bolsas ziploc para la recolección de 50 gramos de muestra; luego se rotuló con número de cama, fecha y temperatura, se las llevó al laboratorio y se procedió a realizar siembras en fresco.



Figura 12. Toma de muestra refrigerada para análisis microbiológico.

.....

■ Evaluación de la composición nutricional de lixiviados y abono orgánico derivado de los procesos de vermicompost

Para la evaluación del perfil nutricional de abonos orgánicos líquidos y sólidos derivados del proceso de vermicultivo, se tomó muestras de 1 L de lixiviado (tres semanas previas a la finalización del proceso) y 1 kg de abono orgánico (al término del proceso), para análisis en el Área de Servicios Tecnológicos del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, por las siguientes variables:

Tabla 2. Parámetros analizados para caracterización de lixiviados derivados del proceso de vermicompost (Servicios Tecnológicos, CEFA)

Parámetro analizado	Método
pH	Potenciométrico, SM -4500H+ B
Conductividad eléctrica	Potenciométrico, SM -2510 B
Fosfatos	Fotométrico PMB, SM 4500 NO-3 E
Sulfatos	Turbidimétrico, SM -4500 SO4-2 E
Boro	Fotométrico, DIN 38405-17
Nitratos	Fotométrico DMP, SM 4500 NO3 E
Hierro	Fotométrico
Magnesio	Cálculo, SM -3500 Mg B
Coliformes totales	Sustrato definido
Escherichia coli	Sustrato definido

Tabla 3. Parámetros analizados para caracterización de abono orgánico sólido derivado del proceso de vermicompost (Servicios Tecnológicos, CEFA)

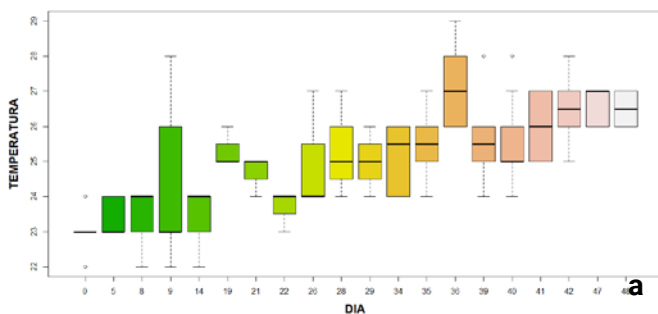
Parámetro analizado	Método
Textura	Bouyucos, IGAP 2006
Acidez intercambiable (A.I.)	Extracción con KCl, 1N, IGAP 2006
Conductividad eléctrica (CE)	Medición en el extracto de saturación, NTC 5596
Carbón orgánico	Walkley - Black, NTC 5403
Materia orgánica (%MO)	Estimación matemática factor 1.724
Fósforo disponible (P)	Bray II, IGAP 2006
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Acetato de amonio 1 N a pH 7, IGAP 2006
Nitrógeno total (N)	Kjeldahl, IGAP 2006
Densidad aparente	Terrón parafinado, IGAP 2006

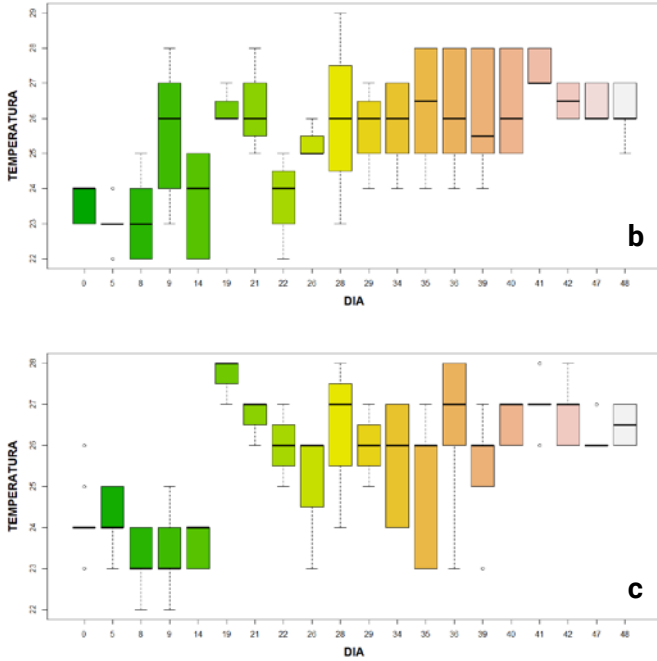
Capítulo 2

Análisis de calidad de abonos orgánicos

■ Comportamiento de la temperatura y pH durante el proceso de vermicompostaje

Se determinó el comportamiento de la temperatura y el pH durante el proceso de maduración del vermicompost, con el objetivo de monitorear las condiciones necesarias para una óptima actividad biológica de las poblaciones microbianas asociadas a la descomposición de materia orgánica, y de la lombriz roja californiana (figuras 13a, 13b y 13c). En términos generales, se encontró una temperatura estable, en el rango de 23 °C a 27 °C durante el proceso de vermicompostaje, lo que resultó ideal para estimular la actividad microbiana mesófila. En cuanto al pH, solo se determinó dos puntos de control, indicando niveles ligeramente alcalinos (pH 8), normales para la actividad biológica.





Figuras 13a, 13b y 13c. Comportamiento de la temperatura durante el proceso de vermicompost. **a.** Testigo experimental; **b.** tratamiento 1: 3 kg tamo de arroz; **c.** tratamiento 2: 6 kg tamo de arroz. Los datos provienen del promedio de tres réplicas experimentales por tratamiento.

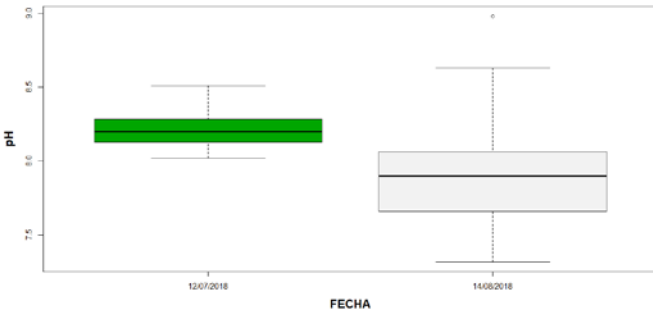
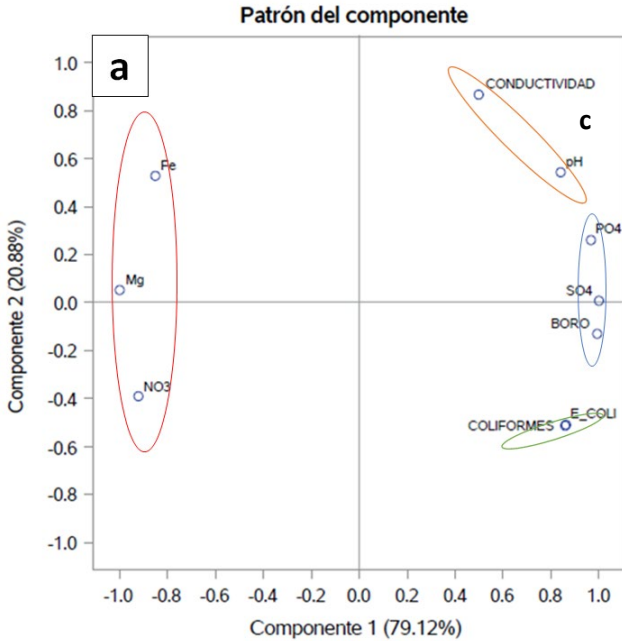


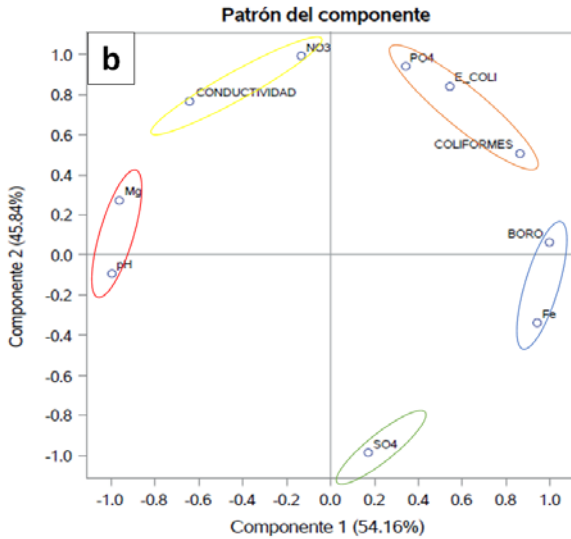
Figura 14. Comportamiento de pH durante el proceso de vermicompost. Los datos provienen del promedio de tres réplicas experimentales por tratamiento. Debido a la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la variable pH, se grafica el comportamiento general del experimento en dos fechas diferentes). p valor < 0.05 indica diferencias estadísticamente significativas.

■ Valor nutricional de lixiviados derivados del proceso de vermicompostaje

Testigo experimental sin tamo de arroz



Tratamiento 1: 3 kg de tamo de arroz



Tratamiento 2: 6 kg de tamo de arroz

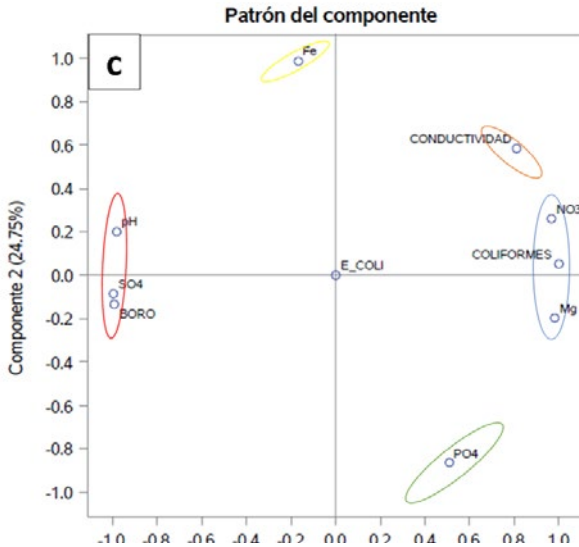
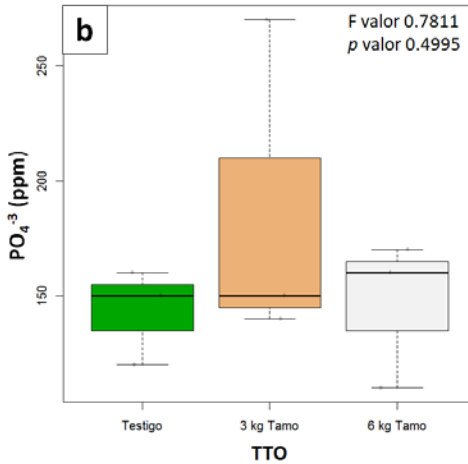
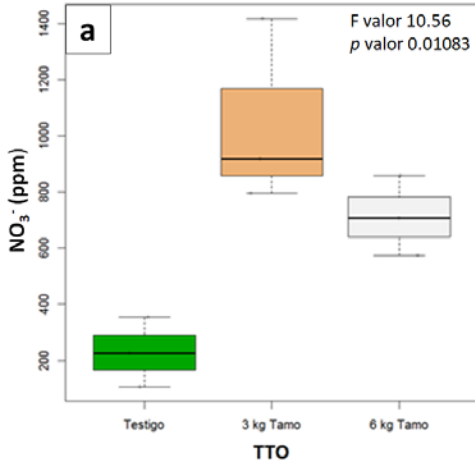


Figura 15. Análisis de componentes principales (PCA) de las variables asociadas a la calidad nutricional de lixiviados derivados del proceso de vermicompost. Los datos provienen del promedio de tres réplicas experimentales por tratamiento. Los componentes denotan el porcentaje (%) de varianza explicado con predicción a un nivel de confianza de 95 % (elipses).

Los análisis de componentes principales (figura 15) indicaron una variación significativa en la calidad nutricional y microbiológica de los procesos de vermicompostaje suplementados con residuos agrícolas, en comparación con el testigo experimental. Así, por ejemplo, los contenidos de fosfatos y boro fueron los factores que más variaron en el testigo experimental, con cerca del 79,12% de la varianza explicada, en comparación con los tratamientos suplementados con 3 kg y 6 kg de tamo de arroz. En contraste, la adición de 6 kg de tamo de arroz al proceso de descomposición generó mayor variabilidad en los contenidos de nitratos y magnesio, en comparación con los otros tratamientos evaluados. Sorpresivamente, la calidad microbiológica del proceso de compostaje suplementado con 3 kg de tamo de arroz fue deficiente, por cuanto absorbió cerca del 90% de la varianza explicada. Este hecho puede ser atribuido más a un error experimental que a la calidad microbiológica real del lixiviado, ya que en todos los procesos se incorporó la misma cantidad y calidad de soporte (bovinasa).

La evaluación individual de factores nutricionales derivados de los procesos de vermicompostaje (figura 16) indicó una ganancia estadísticamente significativa en la concentración de nitratos para los procesos suplementados con 3 kg y 6 kg de tamo de arroz, en comparación con el testigo experimental. La adición de 3 kg de tamo de arroz ocasionó un incremento de 4,8 veces en la concentración de NO_3 con respecto a las 230 ppm de NO_3 reportadas en el tratamiento sin adición de re-

siduos agrícolas. Las demás variables analizadas no presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo experimental, correspondiente al proceso de compostaje sin adición de tamo de arroz.



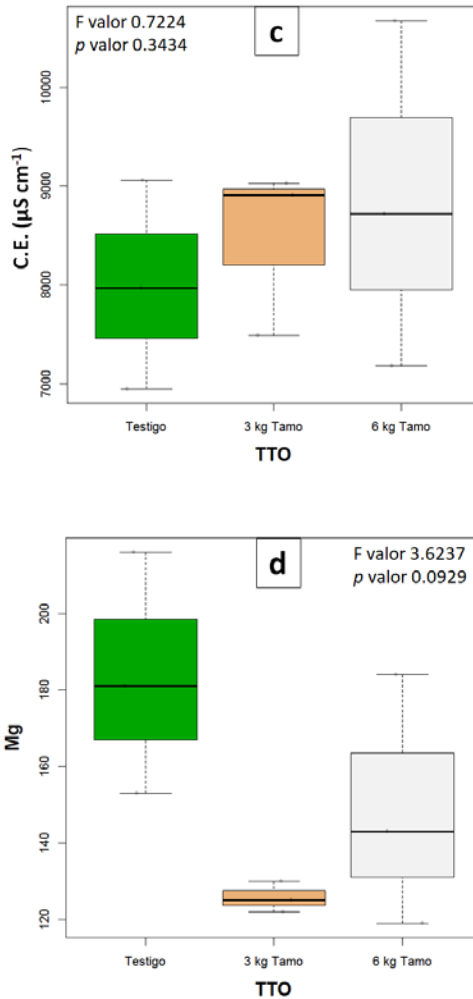


Figura 16. Características químicas de lixiviados derivados del proceso de vermicompostaje. Se muestran las variables con mayor variación respecto al tratamiento control (sin adición de tamo de arroz). **a.** Contenido de nitratos; **b.** Contenido de fosfatos; **c.** Conductividad eléctrica; **d.** Contenido de magnesio. Los datos provienen del promedio de tres réplicas experimentales por tratamiento. Valores de $p < 0.05$ indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

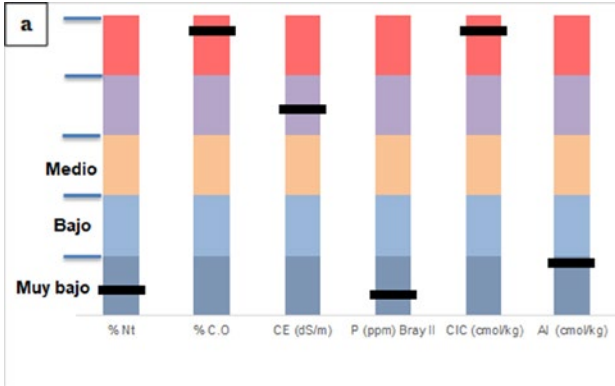
■ Valor nutricional de abono orgánico derivado del proceso de vermicompostaje

Al término del vermicultivo se colectaron muestras de abono orgánico para análisis por calidad nutricional y microbiológica. La figura 17 describe los resultados obtenidos entre los tratamientos suplementados con diferentes dosis de residuos agrícolas, en comparación con los testigos experimentales. Los datos colectados permitieron inferir un aporte significativo de la adición de tamo de arroz a los procesos de maduración de abonos orgánicos asistidos con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), particularmente en cuanto al contenido de fosfatos. Los tratamientos suplementados con 3 kg y 6 kg de tamo de arroz presentaron un aumento de 13 y 12 veces, respectivamente, en el contenido de PO_4 , en comparación con los testigos experimentales, pasando de 2,1 ppm de PO_4 en el tratamiento control a 27,4 ppm de PO_4 (3 kg de tamo) y 25,2 ppm de PO_4 (6 kg de tamo). Los contenidos de carbono orgánico, nitrógeno total y conductividad eléctrica no variaron significativamente entre tratamientos.

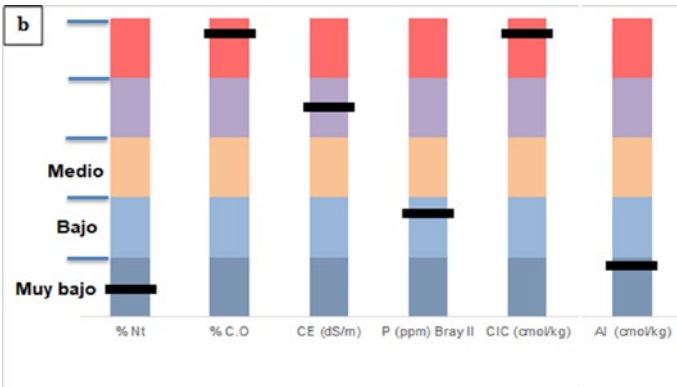
Los resultados generales obtenidos en el proyecto demuestran un efecto positivo de la adición de tamo de arroz en una dosis de 3 kg por 100 kg de bovinasa + 1 kg de lombriz roja californiana, en cuanto al valor nutricional del abono orgánico final, tanto en matriz sólida como lixiviados. No obstante, los alcances sugieren mayor experimentación para entender los procesos de transformación de residuos agrícolas recalcitrantes en

materia orgánica que pueda aportar a la recuperación de suelos degradados en Colombia.

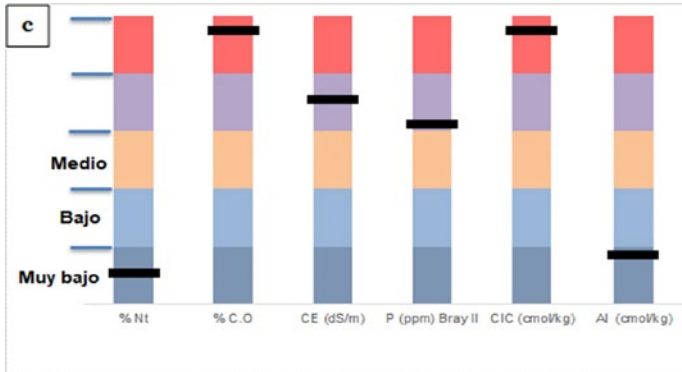
Testigo Inicial



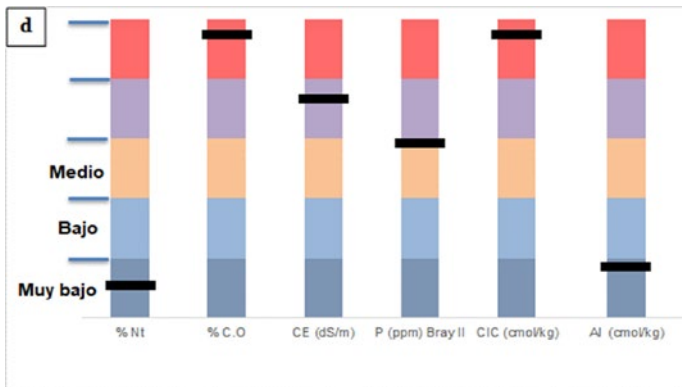
Testigo Final



Tratamiento 1 Final: 3 kg de tamo de arroz



Tratamiento 2 Final: 6 kg de tamo de arroz



MÉTODOS: Textura: Bouyoucos, IGAC 2006; Acidez intercambiable (Al): extracción con KCl 1N, IGAC 2006; Conductividad eléctrica (CE): medición en el extracto de saturación, NTC 5596; Carbono orgánico (% C.O.): Walkley - Black, NTC 5403; Materia orgánica (%MO): estimación matemática factor 1.724; Fósforo (P) disponible: Bray II, IGAC 2006; Capacidad Intercambio Catiónico (CIC) y bases intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio): Acetato de amonio 1 N a pH 7, IGAC 2006; Elementos menores: manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn) y cobre (Cu): Acetato de amonio 1 N a pH 7, IGAC 2006; Nitrógeno (N) total: Kjeldahl, IGAC 2006; pH: NTC 5264; Densidad Aparente (D.A): terrón parafinado, IGAC 2006.

CONVENCIONES: N.S.: No solicitado; I.M.: Insuficiente Muestra

Figura 17. Características nutricionales de abonos orgánicos derivados del proceso de vermicompostaje. Las barras indican el promedio de tres réplicas experimentales por tratamiento. **a.** Condición nutricional del abono orgánico durante el establecimiento del ensayo (Testigo experimental). **b, c, y d.** Condición nutricional de los abonos orgánicos al término del ensayo, luego de 10 semanas de maduración.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo financiero, logístico y en capacidad instalada otorgado a este proyecto por el Centro de Formación Agroindustrial La Angostura (CEFA), bajo la dirección del doctor Cándido Herrera González. Así mismo, se valora la disposición del programa de Tecnología en Control Ambiental del Centro de Formación, de quien fue egresada una de los autores del trabajo, así como el apoyo de los líderes del área de Abonos Orgánicos del Centro.

También agradecemos al Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA), en cabeza de su director, doctor Emilio Navia Zúñiga, a la líder de SENNOVA del Centro de Formación, ingeniera Claudia Mercedes Ordoñez, y al dinamizador del Tecnoparque CEFA, ingeniero Juan Esteban Luna.

Finalmente, agradecemos el apoyo técnico otorgado a este proyecto por el área de Servicios Tecnológicos del CEFA, mediante el análisis de muestras derivadas de la fase experimental.

Referencias bibliográficas

- Abril, D.; Navarro, E.; y Abril, A. (2009). "La paja de arroz: consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento". *Revista Agronomía U. Caldas*, 17(2): 69-79.
- Binet, F.; Fayolle, L.; y Pussard, M. (1998). "Significance of earthworms in stimulating soil microbial activity". *Biol Fertil Soils*, 27: 79-84.
- Dobermann, A. y Fairhurst, T. H. (2000). *Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management*. First edit. T. S. Chee (ed.), Philippines: International Plant Nutrition Institute.
- ____ (2002). "Rice Straw Management". *Better Crops International*, 16: 7-11.
- Eun, J. S. et al. (2006). "Exogenous enzymes added to untreated or ammoniated rice straw: Effects on in vitro fermentation characteristics and degradability". *Animal Feed Science and Technology*, 131: 86-101.

- Kadam, K. L.; Forrest, L. H.; y Jacobson, W. A. (2000). "Rice straw as a lignocellulosic resource: collection, processing, transportation, and environmental aspects". *Biomass and Bioenergy*, 18(5): 369-389.
- Kaewpradit, W. et al. (2009). "Mixing groundnut residues and rice straw to improve rice yield and N use efficiency". *Field Crops Research*, 110(2): 130-138.
- Lim, S. L. y Wu, T. Y. (2016). "Characterization of matured vermicompost derived from valorization of palm oil mill by producto". *J. Agric. Food Chem.* 64: 1761-1769.
- Singleton, D. R.; Hendrix, B. F.; Coleman, D. C.; y White-mann, W. B. (2003). "Identification of uncultured bacteria tightly associated with the intestine of the earthworms *Lumricus rubellus*". *Soil Bio Bio-chem*, 35: 1547-1555.
- Sinha, R. K.; Heart, S.; Agarwal, S.; Asadi, R.; y 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(2): 261-268.
- Sinha, R. K.; Bharambe, G.; y 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". *Environmentalist*, 28(4): 409-420.