Conversión de Pulpa y Mucílago del Café en Vermicomposta Mediante el Uso de la Lombriz *Eisenia foetida*

Por

Edrick Marrero Soto

Tesis sometida en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de

Maestro en Ciencias
en
Horticultura

Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez
2008

Aprobado por:

_____	_____
Wigmar González, M.S. Miembro, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Miguel F. Monroig, M.S. Miembro, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Francisco M. Monroig, Ph.D. Presidente, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Héctor O. López, M.E.M. Representante de Escuela Graduada	Fecha
_____	_____
Guillermo J. Fornaris Rullán, M.S. Director del Departamento	Fecha

Abstract

The objective of the investigation is to obtain information for the establishment of a vermicompost system for the coffee processing in Puerto Rico. A complete randomized block design was used with four treatments for a period of 17 weeks. The densities studied were 0, 3, 5 and 7 kg of worms (*Eisenia foetida*) per cubic meter of coffee pulp. There was no significant difference in the amount of vermicompost produced. The chemical analysis carried out to the substrates established that they had 4% of N, 1% of P and 10% of K. There was no considerable difference between the chemical analysis of the vermicompost and the traditional compost. The mortality rate of the treatments was from 85 to 95% at harvest time and no reproduction was observed. More research is needed about the production of vermicompost with coffee pulp in the Island.

Resumen

El objetivo de la investigación es obtener información para el establecimiento del sistema de vermicomposta en el beneficiado de café en Puerto Rico. Se realizó un diseño en bloques completamente al azar con cuatro tratamientos por un periodo de 17 semanas. Las densidades utilizadas fueron 0, 3, 5 y 7 kg de lombriz (*Eisenia foetida*) por metro cúbico de pulpa de café. No hubo diferencia significativa en la cantidad de vermicomposta producida. El análisis químico realizado a los sustratos establece que tienen un 4% de N, 1% de P y 10% de K. No se encontró una diferencia relevante entre el análisis químico de la vermicomposta y la composta tradicional. El porcentaje de mortandad en los tratamientos fue de 85 a 95% al momento de la cosecha y no se observó reproducción. Es necesario realizar mayor investigación acerca de la producción de vermicomposta con pulpa de café en la Isla.

Edrick Marrero Soto, 2007

A Dios, a mi familia, a mis amigos, profesores, a todos los que han creído en mí, a ti que lees estas páginas que son el fruto del esfuerzo y el trabajo. A los agricultores que son la esperanza de un mundo mejor.

Agradecimientos

Muchas personas e instituciones colaboraron junto a mí en el desarrollo de este proyecto de investigación para que se pudiera llevar a cabo. Es por eso que les quiero dedicar esta sección para reconocer su labor.

Quiero empezar por darle las gracias al Dr. Francisco M. Monroig y a su Miguel F. Monroig por creer en mí y darme la oportunidad de trabajar en esta investigación, por sus consejos y apoyo para seguir adelante. Ellos me encaminaron por el camino del buen investigador que siempre busca soluciones a los problemas. De igual manera quiero agradecer a Wigmar González, por creer en mí y darme la oportunidad de trabajar juntos para el bienestar de la industria del café. Con estas tres personas he aprendido que hacer una maestría no es solo cuestión de profesionales es cuestión de amigos.

Quiero agradecer al Dr. Raúl Macchiavelli por su ayuda en el análisis de los datos y por sus buenos consejos. Al Dr. Miguel Muñoz por brindarme su ayuda y su tiempo en la manera adecuada de interpretar los análisis químicos que se le realizaron a las vermicompostas.

Quiero agradecer a la Estación Experimental Agrícola en Adjuntas donde se realizó esta investigación. A todos los empleados de la estación que de alguna u otra manera estuvieron involucrados en la realización de este proyecto. Al Agro. Evelio Hernández por sus consejos e información y a todos aquellos que hicieron realidad esta investigación. Al Dr. Chong por impulsarme a seguir hacia delante y buscar la contestación de todas aquellas interrogantes que surgían durante la investigación. Este material es basado en investigación apoyada por el USDA/CRSEES Concesión Núm. 109 en Investigación de la Agricultura Tropical / Subtropical.

A mi familia, por apoyarme siempre en todos mis proyectos. A Amneris por apoyarme siempre y motivarme para la realización de esta labor. Y finalmente a mis amistades que siempre me apoyan y están ahí, gracias a todos por su ayuda, sus consejos y su motivación, que viva la Agricultura Patria.

Tabla de Contenido

Página

Abstract……. i

Resumen……..... ii

Dedicatoria…… v

Agradecimientos……... vi

Tabla de Contenido……... vii

Listado de Tablas…….. viii

Listado de Figuras…… ix

Listado de Apéndices…… x

Capítulo 1: Introducción……... 1

Objetivos……... 4

Capítulo 2: Revisión de Literatura…… 5

Capítulo 3: Materiales y Métodos…… 10

Capítulo 4: Resultados y Discusión…….. 15

Capítulo 5: Conclusiones…….. 25

Capítulo 6: Recomendaciones…….. 26

Bibliografía……... 27

Apéndices……. 31

Lista de Tablas

Página

Tabla 1. Numeración y descripción de los tratamientos……... 11

Tabla 2. Análisis estadístico de diferencia mínima significativa…….. 15

Tabla 3. Producción de vermicomposta por tratamiento……..…… 15

Tabla 4. Por ciento material procesado por *Eisenia foetida*……. 16

Tabla 5. Por ciento de mortalidad promedio de lombrices por tratamiento…….……. 17

Tabla 6. Análisis químico de pulpa de café procesada…… 19

Tabla 7. Valores de la temperatura ambiental y la humedad relativa……... 23

Tabla 8. Temperatura de los tratamientos repetición 1……. 23

Tabla 9. Temperatura de los tratamientos repetición 2……. 24

Tabla 10. Temperatura de los tratamientos repetición 3..……. 24

Lista de Figuras

Página

Figura 1. Área disposición para la pulpa de café……..... 1

Figura 2. Diseño del experimento……..……... 10

Figura 3. Estructura del experimento……... 11

Figura 4. Separación de lombrices de la vermicomposta……. 14

Figura 5. Por ciento de pulpa procesada en promedio por tratamiento...…….. 16

Figura 6. Reducción de altura de las camadas en promedio por tratamiento...……... 18

Figura 7. Variación del pH de la pulpa de café con varios porcientos de pergamino…..…… 20

Figura 8. Por ciento de humedad promedio de los tratamientos al momento de cosecha..…. 21

Figura 9. Insectos cuyas larvas se alimentan de pulpa de café …...……. 22

Lista de Apéndices

Página

Apéndice A. Análisis Estadístico…… 32

Apéndice B. Resultados Análisis Químico de los Sustratos.…….. 34

Capítulo 1: Introducción

En un mundo con tantos avances tecnológicos, problemas de contaminación y tantas necesidades, es imprescindible el cuidado del medio ambiente. Uno de los recursos que se ve seriamente afectados por las prácticas de los seres humanos son los cuerpos de agua debido al establecimiento de viviendas e industrias como la del café cerca de sus cuencas. Uno de los sectores agrícolas de mayor importancia en Puerto Rico es la industria del café, la cual está localizada en la zona central montañosa de la isla. Además, miles de familias dependen directamente de esta industria. Siendo la zona montañosa una de difícil acceso y con carencia de fuentes de ingresos el café resulta ser la mayor fuente de empleo. Por tanto debemos trabajar para resolver los problemas de esta industria.

Según el censo de agricultura federal del 2002 hay alrededor de 54,000 cuerdas dedicadas al cultivo del café. Hay alrededor de 9,800 caficultores, 116 beneficiadores y 32 torrefactores. Para el año 2005/2006 el Departamento de Agricultura de Puerto Rico estimó una producción de 179,667 quintales de café oro. De estos un 62 % fueron procesados por la vía húmeda (Comunicación personal, 2007) lo que representa una producción de 17,079 toneladas de pulpa de café.

El proceso de beneficiado del café por vía húmeda genera una gran cantidad de pulpa y mucílago lo cual representa un gran riesgo de contaminación como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Área de disposición para la pulpa de café.

El beneficiado de café por la vía húmeda convencional requiere de 378 L a 1541 L de agua para producir un quintal de café oro (Álamo, 1999). La disposición indebida del agua contaminada y la pulpa deterioran el paisaje, limita el uso de áreas recreativas y afectan la vida silvestre desde la montaña hasta el mar. En vista de eso la Junta de Calidad Ambiental (JCA) de Puerto Rico junto a otras instituciones como el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS) comienzan a trabajar en conjunto para hacer cumplir los reglamentos vigentes para la disposición adecuada de los desperdicios. El Informe Sobre la Evaluación de Fuentes Dispersas de Puerto Rico busca alternativas de control y mejores prácticas de manejo para trabajar con los subproductos, incluyendo la industria cafetalera.

El problema con la implementación de los sistemas de manejo de subproductos del beneficiado del café es que el agricultor no ve la necesidad de invertir una suma considerable de dinero en los mismos. La construcción de estas estructuras en la zona montañosa representa una inversión de miles de dólares debido a la topografía de la zona. La mentalidad del agricultor es que de estas inversiones no se recibe ganancia económica. Algunos sistemas de manejo de subproductos constan de estructura para el almacenamiento de la pulpa por un periodo de un año antes de ser aplicada a los predios de la finca y charcas de oxidación o zanjas de infiltración para el tratamiento o disposición de las aguas residuales. Cuando la ley es aplicada a los agricultores muchos han optado por cerrar los beneficiados, reducir las operaciones o utilizar alternativas como el beneficiado en seco que reduce la calidad del café. Esta investigación pretende hacer atractivo la construcción del almacén de pulpa de café aplicando la vermicomposta para convertir la pulpa en abono de alta calidad el cual produzca un ingreso extra al agricultor ya sea para la venta como abono orgánico o para utilizarlo en la finca.

El Departamento de Agricultura, junto al NRCS y la Universidad de Puerto Rico (UPR) han formado acuerdos para establecer la tecnología de beneficiados ecológicos en Puerto Rico. El consumo de agua es de 57 - 64 L comparado con los 378 L - 1541 L del beneficiado tradicional o convencional. También se reduce el gasto de energía ya que de 25-30 HP en el convencional se requieren solamente 9.0 HP en el ecológico. Con esta tecnología se resuelve en

gran medida el problema del alto consumo de agua y energía, pero persiste el problema de la disposición del mucílago y la pulpa. De cada fruto de café cerca del 50% es pulpa y mucílago y el otro 50% es el grano. De 10 toneladas de café uva beneficiado cerca de 5 toneladas son pulpa y mucílago lo que representa un gran subproducto que de no ser procesado adecuadamente puede ser una fuente de contaminación.

Al presente la pulpa de café esta siendo almacenada en estructuras con piso de concreto y paredes de hormigón o bloques y usualmente, techadas de zinc. Esta pulpa es almacenada durante un año antes de que el agricultor pueda disponer de ella en la finca. Esto produce malos olores en el área, además de los insectos y roedores que se alojan en el área alimentándose de la masa en descomposición. El mal olor de la pulpa y el mucílago del café tienen grandes cantidades de agua lo que produce líquidos residuales llenos de contaminantes. Luego de ese periodo de almacenaje se dispone de la pulpa arrojándola en algún área de la finca y algunas personas van a los beneficiados a obtener la pulpa ya descompuesta para utilizarla como composta en sus huertos y jardines.

El propósito de este proyecto es convertir la pulpa y el mucílago de café en algo útil ya sea en vermicomposta para fertilizar las fincas de café o para que el agricultor pueda recibir un ingreso extra vendiendo este fertilizante. Actualmente este producto se vende a $1.00 la libra (Verde Amanecer®) al detal lo que representaría una ganancia al agricultor.

La vermicomposta se ha utilizado exitosamente en muchas partes del mundo para procesar desechos industriales como los residuos de la industria vitícolas, disposición de desechos animales y en la industria del café. Se ha utilizado intensivamente para procesar los desechos de animales, desechos vegetales, papel y cartón. En el Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafe) se ha utilizado la vermicomposta para procesar la pulpa de café teniendo muy buenos resultados y sus investigaciones nos podrían servir de guía para llevar a cabo este proyecto aquí en Puerto Rico.

Actualmente se encuentran muchos libros que hablan sobre las diferentes técnicas de vermicompostaje. Además en la Internet se encuentran muchos artículos con buena información

que nos pueden ayudar a desarrollar un sistema de vermicompostaje. En Puerto Rico se están realizando varios proyectos de vermicomposta, dos de ellos en Mayagüez en la empresa Verde Amanecer y en el zoológico Juan A. Rivero. En el Jardín Botánico de Caguas están comenzando con un proyecto nuevo de vermicomposta. En la Estación Experimental Agrícola se están realizando varias investigaciones para usar la vermicomposta en el procesamiento de la pulpa de café y mezclas de pulpa de café con residuos industriales. El Servicio de Extensión Agrícola ha ofrecido varias charlas acerca de la vermicomposta así como varios maestros del sistema educativo han utilizado las lombrices para mostrarles a los estudiantes el funcionamiento de este sistema.

El impacto que esta investigación puede tener en la industria del café en Puerto Rico, es integrar la vermicomposta como parte del proceso en el beneficiado del café en la isla. De esta manera se resolvería en gran medida el problema de la contaminación que pudiera causar las grandes cantidades de pulpa, se generan nuevos empleos y se produce un aporte a la economía de la zona montañosa. Esto ayudaría en gran medida a la industria del café.

Objetivo General

El objetivo de esta investigación es desarrollar información para el establecimiento de la vermicomposta en el beneficiado ecológico del café en Puerto Rico.

Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de esta investigación son:

- Estudiar el efecto de la densidad de lombrices (kg lombrices/m^3 pulpa de café) en la velocidad de la producción de vermicomposta utilizando la pulpa de café.
- Comparar la calidad de la vermicomposta de la pulpa de café utilizando la lombriz roja *Eisenia foetida* con la que se obtiene naturalmente por la descomposición microbiana de la pulpa.
- Identificar los factores que afecten la producción de vermicomposta utilizando la pulpa de café en Puerto Rico.

Capítulo 2: Revisión de Literatura

Uso de la lombriz en vermicompostaje

Se ha encontrado que el uso de la lombriz puede reducir sustancialmente el tiempo de compostaje de productos que contienen celulosa o material vegetal en varias semanas (Sinha, 2002). El uso de la lombriz para el compostaje se ha utilizado por cientos de años, en los últimos años a tenido un gran auge en su uso para compostar desechos orgánicos (Sinha, 2002). El uso de la vermicomposta se ha desarrollado por esta tener la capacidad de trasformar residuos vegetales en materia orgánica y proveer un producto estable de buena calidad (Marsh, 2004). El uso de la vermicomposta se ha desarrollado para tratar desechos de alta humedad de las industrias, la agricultura y fuentes municipales como lo son el biosólido, estiércol, papel y desechos de comida (Haimi y Huhta, 1986; Hand, 1988; Neuhauser, 1988; Elvira, 1995; Elvira, 1997; Farrell, 1998; Ndegwa y Thompson, 2000; Ndegwa, 2000).

Selección de *Eisenia foetida*

En investigaciones realizadas en vermicomposta se ha utilizado extensivamente la lombriz roja (*Eisenia foetida)* para procesar residuos de industrias y desechos con alta humedad exitosamente (Edwards, 1988, Siles-Calvo, 1998, Hand, 1988 y Sinha, 2002). La lombriz posee una gran capacidad de reproducción y alta resistencia a las condiciones del ambiente con un rango de pH de 5 a 9 (Schudlt, 2002) y un rango de temperatura de 15 a 25ºC (Schudlt, 2002). La lombriz es hermafrodita y cuando se aparean intercambian el esperma fecundando los óvulos de ambas lombrices lo que produce dos capullos. Cada capullo puede producir de 2-4 lombrices observándose en algunos casos hasta 9 embriones en un capullo. Los capullos o cocones como se les llama en Latino América eclosionan luego de aproximadamente 23 días. Luego de 50-60 días de la eclosión las lombrices alcanzan la madurez sexual. Los apareamientos pueden ocurrir hasta un máximo de 2 a 3 veces por semana, siendo uno lo usual. Las lombrices pueden llegar a vivir de 4 a 5 años en condiciones de laboratorio, pero en el campo viven alrededor de 1 año (Schudlt, 2002).

Una alta densidad de lombrices en un área afecta de manera negativa la puesta de huevos, y este es un factor clave para el establecimiento de nuevos vermicultivos (Schudlt, 2005). Según el Dr. Schudlt de las lombrices utilizadas en la vermicultura son pocas las especies que reúnen todas las características requeridas como son tolerar un amplio rango de temperatura, pH y humedad, desarrollo y crecimiento en espacios confinados y alta reproducción. Algunas lombrices utilizadas en la vermicultura son *Eudrilus eugeniae, Dendrobaena veneta, Amynthas sp., Polypheretima elongata, Perionyx excavatus, Eisenia foetida, Lumbricus rubellus y Pheretima sp.* (Schudlt, 2002). Estas lombrices requieren de condiciones ambientales específicas para su crecimiento y reproducción, por lo que no hay una recomendación específica para utilizar una lombriz, todo va a depender de las condiciones ambientales a las cuales van a ser sometidas. En investigaciones realizadas por la Dra. Sonia en estiércol de ganado vacuno, se encontró que de las especies existentes en Puerto Rico ninguna era favorable para el desarrollo de la vermicomposta en sistemas de vermicomposta de flujo continuo (Borges, 2003).

Vermicomposta con pulpa de café

En una investigación realizada por Siles-Calvo y colaboradores se encontró que el uso de la vermicomposta con pulpa de café puede generar un ingreso extra para el agricultor de café, tiene la capacidad de mejorar los suelos y ayuda al ambiente (Siles-Calvo, 1998). En una investigación realizada en Costa Rica se probaron tres sistemas diferentes de vermicompostaje siendo el más efectivo el sistema de aplicar el sustrato en niveles y luego la remoción total de la vermicomposta (Siles-Calvo, 1998). En investigaciones realizadas en Colombia se ha encontrado que el uso de compostaje vertiendo la pulpa de café produce una composta con pobres características físicas y químicas, por lo que se ha recomendado el uso de la vermicomposta (Orozco, 1996).

Densidad de siembra

En investigaciones previas realizadas por Cenicafe y la empresa privada en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma se ha encontrado en Colombia que aproximadamente 25 toneladas de café uva se pueden procesar en un área de 25 m² utilizando la lombriz roja

californiana (Oliveros, 1996). Esto equivale a un área aproximada de 5 m por 5 m trabajando con una densidad de lombriz roja pura de 5 kg por m ² de pulpa de café (Oliveros, 1996)

La velocidad de la descomposición esta limitada por varios factores como la temperatura y el tamaño de partícula. Según Oliveros, a mayor cantidad de lombrices por unidad de materia mayor debe ser la velocidad de descomposición (Oliveros, 1996).

En investigaciones de vermicompostaje realizadas en Cuba se a utilizado densidades de 60,000 lombrices por 1.2 m³ de pulpa de café. La misma se ha colocado en canteros y cada 15 días se le aplica 1.2 m³ de pulpa. A los setenta días se realizó la cosecha del humus en los canteros teniendo buenos resultados (Garcia, 2001).

Evaluación química de vermicomposta de pulpa de café.

Se ha encontrado que la vermicomposta de pulpa de café tiene una ventaja tanto química como económica sobre la composta microbiana cuando se utiliza la lombriz *Eisenia foetida* (Ramos, 1996). En una investigación realizada en Colombia se analizó la pulpa consumida por la lombriz y se observó un aumento en el fósforo (P), calcio (Ca) y magnesio (Mg) mientras que se detectó una reducción en el potasio (K) (Orozco, 1996). En investigaciones realizadas en Cenicafe se ha encontrado que la vermicomposta con pulpa de café y mucílago tiene géneros de bacteria como *Pseudomonas, Acinetobacter, Flavobacterium, Proteus, Alcaligenes y Klebsiella*. Estos microorganismos son beneficiosos ya que ayudan en la dinámica de la absorción y disponibilidad de nutrientes en el suelo. Se han encontrado bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre y bacterias que solubilizan el fósforo (Blandon,1999).

Beneficios de la vermicomposta.

La vermicomposta es un material parecido a la turba de musgo comercial con una alta porosidad, buen drenaje y una alta capacidad de retención de agua. Además la mayoría de sus nutrientes están en un estado disponible para la planta (Orozco, 1996; Edwards, 1998). La vermicomposta tiene una gran área superficial que provee para el desarrollo de muchos

microorganismos y retención de nutrientes (Shi-wei y Fuzhen, 1991). En una investigación realizada por Atiyeh y colaboradores se encontró que en los medios de crecimiento a los que se le añadió vermicomposta hubo un aumento en la germinación y crecimiento de plantas como pimiento, tomate y tajetes (Atiyeh, 2000 y Atiyeh, 2002). Se ha encontrado que la vermicomposta contiene reguladores de crecimiento producidos por los microorganismos y otros tipos de materiales que promueven el desarrollo de las plantas (Tomati, 1988 y Tomati 1990; Grappelli, 1987). Se ha reportado la producción de citoquinínas y auxinas, que son reguladores de crecimientos en las plantas que afectan la regulación de brotes y raíces, en materiales orgánicos consumidos previamente por lombrices (Krishnamoorthy y Vajrabhiah, 1986). Se ha encontrado que el efecto de los microorganismos de la vermicomposta en el suelo ayuda a controlar los organismos patogénicos de las plantas (Hoitink y Fahy, 1986) y controlar la poblaciones de nemátodos parasíticos lo que aumenta de rendimiento de las cosechas (Johnston, 1995).

Alturas de la camada

En investigaciones realizadas (Oliveros, 1996), se encontró que la altura para el sustrato debe ser de 40 cm. Hay que tener en cuenta que las lombrices respiran por la piel por lo que tienen que estar en un sustrato que provea un intercambio de gases efectivo de modo que pueda salir el CO_2 y pueda entrar el oxígeno.

Enemigos naturales de las lombrices

Entre los enemigos naturales de las lombrices se encuentran las arañas, ciempiés, sanguijuelas, gusanos planos, hormigas, ratones, ranas, aves, hongos y bacterias (Munroe).

Métodos utilizados para compostar

Se utilizan diversos métodos para compostar los residuos industriales y los desechos orgánicos. La composta convencional se basa en la descomposición microbiana, la cual es causada por los mismos microorganismos que habitan en la materia orgánica. Los mismos se

alimentan de la materia orgánica elevando la temperatura lo que actúa como un proceso de pasteurización. Entre ellos están el composta en pilas, composta de pilas con volteo, composta en pila estática aireada (NRCS, 2004).

Humedad, pH y temperatura de compostaje convencional

Los procesos de compostaje convencional tienen una temperatura óptima entre 63 y 74ºC. La composta debe obtener al menos 55ºC para matar a los patógenos y a 60ºC para matar las larvas de mosca y otras bacterias y virus dañinos. Si la temperatura sobrepasara los 85ºC se debe airear para evitar el comienzo de un incendio.

La humedad debe mantenerse entre 40 y 65 % en la composta convencional. Humedad bajo ese rango reduce la actividad microbiana y si sube sobre ese rango se pueden producir condiciones anaeróbicas que reducen el proceso de descomposición de la materia orgánica en la composta convencional (NRCS, 2004). La humedad ideal debe ser entre 70 a 80 % para que las lombrices puedan consumir el material y poder deslizarse, a la misma vez debe mantener su humedad corporal para que se lleven a cabo sus funciones metabólicas.

Capítulo 3: Materiales y Métodos

Diseño Experimental

Se realizó un experimento con el propósito de evaluar el efecto de diferentes densidades de lombrices por metro cúbico de pulpa y mucílago de café para determinar la densidad de lombrices adecuada para las condiciones de la zona cafetalera en Puerto Rico. Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar con cuatro tratamientos. El control consistió de pulpa sin lombrices. Los tres tratamientos restantes corresponden a densidades de 3, 5 y 7 kg de lombriz/m³ en pulpa (Tabla 1). La Figura 2 muestra el diseño experimental con los diferentes tratamientos y replicaciones. El sustrato del los tratamientos no fue volteado hasta la cosecha de la vermicomposta.

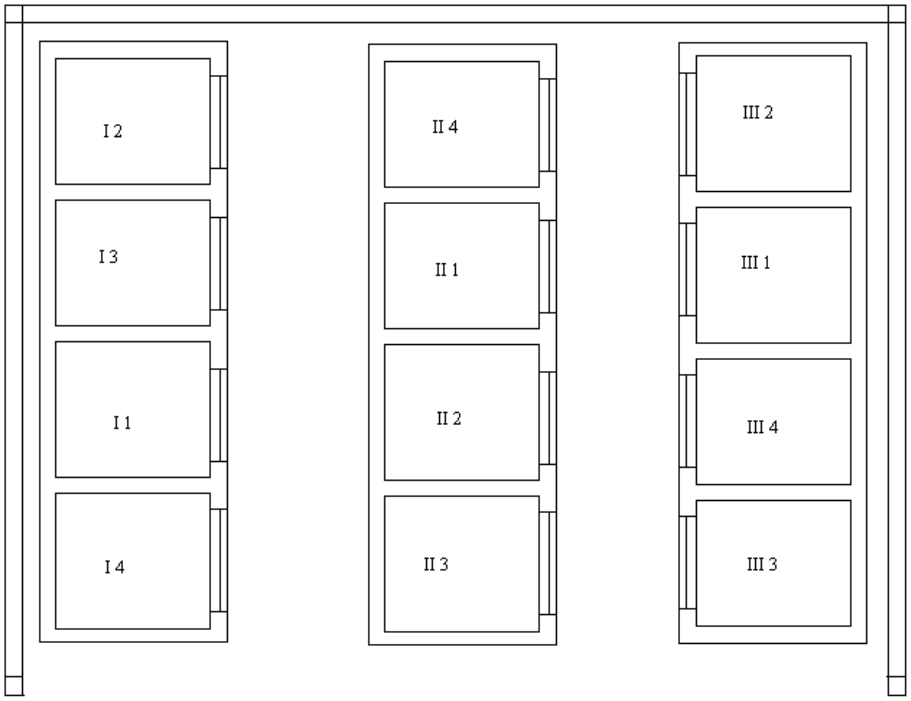


Figura 2. Diseño del experimento.

Tabla 1: Numeración y descripción de los tratamientos.

Tratamientos	Densidad (kg lombriz / m^3)
1	0
2	3
3	5
4	7

Estructura Utilizada

Para realizar el experimento construimos las vermicomposteras en una estructura hecha de hormigón y techo de zinc. Las vermicomposteras se construyeron sobre un piso de concreto con declive para evitar la acumulación de lixiviados de haber alguno. Se construyeron uno drenajes en la parte baja de las vermicomposteras para permitir el flujo de lixiviado. El drenaje consistió de un tuvo PVC con un tapón perforado. El área de las vermicomposteras se cubrió con tela metálica para evitar la entrada de aves o cualquier otro depredador de las mismas (Figura 3), y se le colocó una cubierta plástica en la parte superior para evitar la entrada de luz y agua. Sobre las vermicomposteras se colocaron pedazos de zarán de un metro cuadrado para proveerle oscuridad al medio y protegerlo. El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Agrícola en Adjuntas.

Figura 3. Estructura donde se realizó el experimento.

Se construyeron 12 vermicomposteras de un área de un metro cuadrado y una altura de 56 cm. Se utilizaron bloques de 15.24 cm y cemento, con tres divisiones en el medio hechas con bloques de 10.16 cm. El pasillo entre las vermicomposteras es de 76.2 cm para permitir el paso de una carretilla y facilitar el trabajos y una separación de la pared exterior según lo permita el espacio para eliminar el efecto de pared, en este caso unos 15.24 cm. Las vermicomposteras tienen una doble puerta siendo la primera de acrílico que permita observar el perfil de la vermicomposta a medida que pase el tiempo. La segunda es un pedazo de panel de madera para proveer oscuridad al medio ya que las lombrices tienen fototaxis negativa y esto pudiera afectar el proceso de vermicompostaje.

Se utilizó pulpa de café que tenia más de 14 días de procesado para que hubiese ocurrido un proceso previo de descomposición y no ocurran temperaturas letales para las lombrices. Se realizaron unas pruebas de aceptación de la pulpa de café en frascos de cristal en donde a los 9 días de producida las lombrices entraron en el sustrato permaneciendo en él. En investigaciones previas se ha encontrado que es mejor proveerle sustrato previamente compostado a las lombrices para facilitar la aclimatación y reducir la mortalidad (Rynk, 1998).

Determinación de la cantidad de lombrices por tratamiento

Para determinar la masa de lombrices pura por tratamiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$Mp = \delta \cdot V = \delta \cdot A \cdot h$$

La masa de lombriz pura por tratamiento (Mp) se obtiene multiplicando la densidad del tratamiento (**δ =** kg lombriz/ m^3 pulpa) por el volumen de la pulpa de café (V). El volumen de la pulpa de café se estimó multiplicando el área de la base del tratamiento (A) por la altura máxima de la pulpa (h). Se utilizó una altura de 40 cm como referencia.

Las lombrices comerciales son enviadas en un empaque que contiene un sustrato para su transporte. Para determinar la razón de lombrices puras en el sustrato comercial (R_L) se dividió la masa de lombrices puras en el empaque (M_L) entre la masa total del empaque (M):

$$R_L = M_L / M$$

La masa de lombrices y sustrato comercial por tratamiento (M_t) se obtiene dividiendo la masa de lombrices pura para el tratamiento (Mp) por la razón de lombrices puras en el sustrato comercial ($R_{L)}$

$$M_t = Mp / R_L$$

En el experimento se utilizaron 1.82 kg de lombriz comercial en el tratamiento 2, 3.04 kg de lombriz comercial en el tratamiento 3 y 4.25 kg de lombriz comercial en el tratamiento 4.

Monitoreo de los tratamientos

La inoculación de las lombrices al sustrato se realizó haciendo cinco perforaciones equidistantes para asegurar una dispersión uniforme de las lombrices sobre la pulpa de café. La profundidad de inoculación fue de 15.24 cm. aproximadamente. Se monitoreo la conversión de pulpa a vermicomposta para determinar la frecuencia de alimentación.

Se monitoreó el pH, la temperatura, el % de humedad y la velocidad de descomposición del sustrato. Para monitorear la temperatura se utilizó un Onset HOBO Data Logger®, que registro la temperatura cada 15 minutos. Para muestrear el pH se utilizó un metro de pH ISFET Modelo IQ120. Con el objetivo de reducir el efecto por temperatura se estableció una camada de 12.70 cm. de altura con pulpa de café que tenía más de dos semanas de procesada para evitar el efecto de las altas temperaturas producidas por la descomposición. Al verificar la temperatura de la camada manualmente a las dos semanas estaba fresca y la altura había disminuido de 12.70 cm a 5.08 cm, y como el nivel de la pulpa de café estaba muy bajo se aumentó a 20.32 cm de altura.

Cosecha y análisis de resultados

Los datos de procesamiento de la pulpa se realizaron al cabo de 5 meses. Dos semanas antes de cosechar las lombrices de la camada se colocó la camada en sacos para lavar las vermicomposteras con agua con un pH cercano a 7 para eliminar cualquier residuo de la construcción. Luego de lavar bien las cajas vermicomposteras se vertió la camada en la parte baja de la caja cerca de los drenajes. Se colocó un pedazo de tela metálica sobre la misma y al

otro lado se añadió unos 2.27 kg pulpa previamente compostada esperando que las lombrices migraran hacia el nuevo material Figura 4. La pulpa se había probado previamente con lombrices en una caja de plástico habiendo tenido buena aceptación.

Figura 4. Separación de lombrices de la vermicomposta.

A las dos semanas se cosechó la vermicomposta pasándose por la máquina fabricada por la compañía Vermitechnology®. Durante el proceso de cosecha la vermicomposta se vierte por un lado de la máquina que es en forma cilíndrica envuelta por tela metálica fina que permite el paso de la pulpa vermicompostada. La pulpa que no ha sido vermicompostada cae al final donde se recolecta y se vuelve a colocar en las vermicomposteras. Se regó el nuevo material con agua de pH 7 para mantener una humedad del medio cerca del 85 % y el mismo permaneció cubierto con un pedazo de sarán.

Se realizó un análisis estadístico del por ciento de pulpa procesado en los diferentes tratamientos para determinar si había diferencia significativa con un valor de $\alpha = 0.05$.

Para analizar el comportamiento del pH y la humedad de la pulpa, se realizó un experimento adicional durante un periodo de 14 días. Para hacer esta evaluación se tomaron 4 muestras de pulpa de café fresca y se le añadió pergamino al 0, 5, 10 y 15 % para promover la aireación en el medio. Se tomaron los datos diariamente.

Capítulo 4: Resultados y Discusión

Efecto de la densidad de lombrices en velocidad de compostaje.

En la Tabla 2 se puede apreciar el análisis estadístico realizado al por ciento de pulpa procesado. Se realizo un Análisis de LSD en Infostat® con un alfa de 0.05 donde se demostró que no había diferencias significativas entre los cuatro tratamientos. En el apéndice A se puede observar el análisis estadístico.

Tabla 2. Análisis estadístico de diferencia mínima significativa

Tratamiento	Medias	N	
1	28.06	3	A
4	40.16	3	A
2	40.39	3	A
3	43.94	3	A

Test: LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=18.85777 *Error: 89.09 gl 6*

El análisis estadístico indica que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos. En base a esto realizaremos un análisis descriptivo de los diferentes factores que pudieron afectar el resultado de los experimentos. Luego de realizado el experimento se obtuvieron los siguientes datos que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Producción de vermicomposta por tratamiento

Repetición	Procesado(g)	Sin Procesar (g)	Total(g)	% Procesado
I-1	15.7	57.5	73.2	21.5
I-2	33.0	22.5	55.5	59.4
I-3	39.0	31.5	70.5	55.3
I-4	36.5	35.0	71.5	51.0
II-1	19.0	50.7	69.7	27.2
II-2	17.0	48.2	65.2	26.0
II-3	23.7	43.7	67.5	35.2
II-4	29.5	62.2	91.7	32.1
III-1	33.5	61.0	94.5	35.4
III-2	28.0	50.5	78.5	35.6
III-3	31.0	44.0	75.0	41.3
III-4	33.0	55.5	88.5	37.2

En la Tabla 4 se observa la diferencia entre los valores del control y los diferentes tratamientos. Se observa que la desviación de los por cientos es variada. Los datos obtenidos del material procesado tuvieron la mayor desviación en el tratamiento 2 con un 33.5 % y el menor fue el tratamiento 1 con un 13.5 % de desviación. El tratamiento 3 obtuvo el mayor valor con un 43.9 % y el tratamiento 1 obtuvo el menor valor.

Tabla 4. Por ciento material procesado por *Eisenia foetida*

Tratamientos	% Procesado			Promedio (%)	Desviación (%)
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3		
1	21.5	27.0	35.0	28.0	6.78
2	59.5	26.0	35.6	40.3	17.25
3	55.3	35.0	41.0	43.9	10.43
4	51.0	32.0	37.0	40.2	9.84

Tratamientos: 1 = 0 kg/m³, 2 = 3 kg/m³, 3 = 5 kg/m³, 4 = 7 kg/m³

En la Figura 5 podemos observar el promedio del por ciento de pulpa procesado en para los 4 tratamientos. En esta gráfica de barras podemos observar que el tratamiento 3 obtuvo el mayor por ciento seguido por el tratamiento 4, tratamiento 2 y tratamiento1 respectivamente.

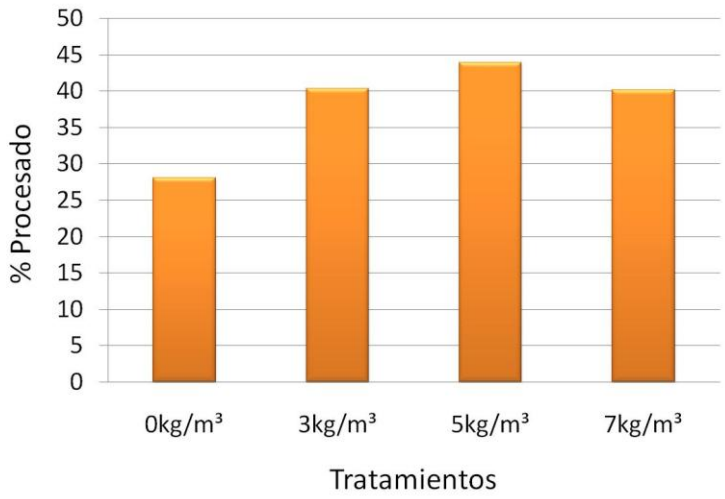


Figura 5. Por ciento de pulpa procesada en promedio por tratamientos.

Población de lombrices

Durante el experimento no se observó reproducción de las lombrices en ninguno de los tratamientos. Esto sugiere que las lombrices no estaban en las condiciones adecuadas en el medio en el cual se encontraban. Originalmente se comenzó con 18.18 kg de lombriz comercial. El peso de la lombriz comercial se toma en consideración junto con el sustrato. Aproximadamente hay 1000 lombrices adultas en 0.45 kg de lombriz comercial. Al finalizar el experimento obtuvimos 1.50 kg de lombriz pura. En la Tabla 5 se puede observar el por ciento de mortalidad en promedio de las lombrices por tratamiento.

Tabla 5. Por ciento de mortalidad promedio de lombrices por tratamiento

Tratamientos	Población inicial (kg)	Población Final (kg)	% Mortalidad
1	0.0	0	0.0
2	1.2	0.18	85.0
3	2.0	0.17	91.5
4	2.8	0.15	94.6

No se observó presencia de capullos en ninguno de los tratamientos y las poblaciones disminuyeron dramáticamente en todos ellos. Se debió, posiblemente, a las altas temperaturas iniciales, al desarrollo de condiciones anaeróbicas y al exceso de humedad que hay en la pulpa de café.

Altura de la Camada

Semanalmente se monitoreó la altura de la camada de pulpa para observar si había diferencias entre los tratamientos. Los datos que aparecen en la Figura 6 corresponden a la perdida de altura de las camadas durante un periodo de 17 semanas.

En base a los datos obtenidos se puede observar que la reducción en la altura fue similar en todos los tratamientos. Aparentemente en la zona baja de la camada se produjeron condiciones anaeróbicas las que pueden afectar las lombrices. A medida que pasó el tiempo la pulpa se fue compactando, formando una capa densa en la zona inferior. Por tal razón es necesario usar capas finas de pulpa o voltear periódicamente las mismas si son de mayor altura.

En investigaciones previas se ha encontrado que al producirse condiciones anaeróbicas se generan compuestos como alcoholes, fenoles, terpenos y ácidos orgánicos volátiles que al volatizarse suben pasando por la parte aeróbica afectando directamente a las lombrices (Ingham, 2003). Como las lombrices respiran por la piel, son afectadas por estos compuestos.

La altura de los 20.32 cm fue bajando en cada tratamiento paulatinamente hasta que se fue estabilizando cerca de la semana 12. Se puede observar que la compactación ocurre más rápido en la primera semana, siendo esta la más crítica para la adaptación de las lombrices. Como se aprecia en la Figura 6 el comportamiento de la pérdida de altura fue similar en todos los tratamientos por lo que se presume que no hubo un efecto debido a la densidad de las lombrices. En la semana 15 se volteó la camada para airear el sustrato por lo que se puede observar un leve aumento en la altura del mismo.

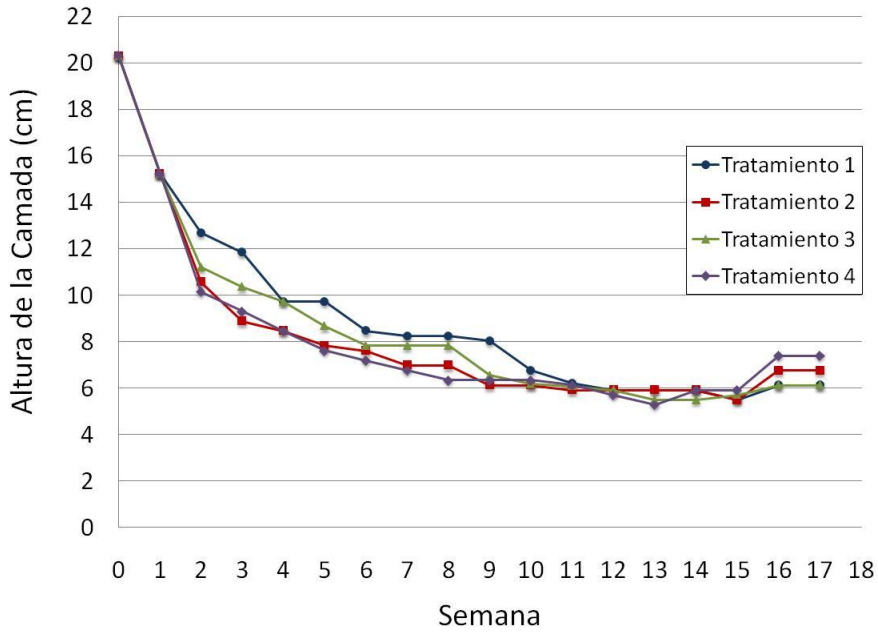


Figura 6. Reducción de altura de la camada en promedio por tratamiento.

Análisis químico de los tratamientos

En la Tabla 6 se puede observar el análisis químico realizado a los tratamientos al finalizar el experimento. No se observó diferencia significativa entre los tratamientos. Los valores para el por ciento de N, P, K, S, Ca y Mg resultaron ser similares. El valor de N está

alrededor del 4 %, el de P cerca del 1 % y el de potasio cerca del 10 %, por lo que se podría utilizar la composta para suplementar N y K en algunos cultivos que así lo requieran. Además, de ofrecerles P, S, Ca, Mg y otros elementos menores. Los valores entre los tratamientos presentan diferencias leves por lo que se presume que no hay una diferencia significativa. En el apéndice B se pueden observar el análisis completo.

Tabla 6. Análisis químico de pulpa de café procesada.

Análisis químico	Tratamiento1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
%N total	3.88	4.07	3.88	3.70
% PO	1.03	1.04	0.98	0.94
% KO	9.62	10.18	9.80	9.29
% S	0.60	0.63	0.58	0.57
% Ca	1.75	1.72	1.56	1.51
% Mg	0.45	0.40	0.39	0.41

Efecto de pH

Al comienzo de experimento se tomó una muestra de la pulpa compostada por dos semanas, la cual se secó al sol y se molió en un mortero de piedra, para ser analizada en cuanto a sus propiedades nutricionales, contenido de sales y pH. La misma arrojó que el pH de la pulpa compostada era de 9.8 y la misma contenía una concentración alta de sales solubles lo que es perjudicial para las lombrices. *Eisenia foetida* crece y se desarrolla mejor en un pH cercano a 7, a pesar de que su rango de pH se acerca a 9. Por lo general un alto pH es indicativo de alta concentración de sales lo que afecta a las lombrices que están constituidas cerca de un 80 a 90% de agua. Una alta concentración de sales en el medio pudiera llegar a causar una deshidratación o afectar su alimentación.

En la Figura 7 se puede observar el comportamiento del pH de la pulpa de café con diferentes por cientos de pergamino durante 14 días en condiciones reales del experimento. Esta información es del experimento alterno que se realizó Se puede observar que el comportamiento del pH es muy similar para 0, 5, 10 y 15 % de pergamino.

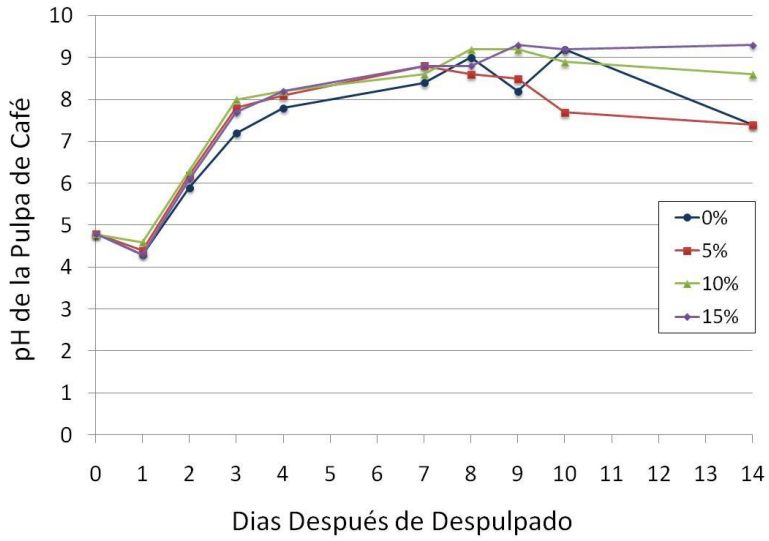


Figura 7. Variación del pH de la pulpa de café con varios porcientos de pergamino.

El pH de la pulpa de café va de un pH ácido a uno alcalino y luego se estabiliza en valores entre 7.4 y 9.3. En trabajos de investigación realizados en Costa Rica se ha encontrado que la pulpa de café compostada utilizando el sistema de volteos a alcanzado pH de 8.58 en pulpa con mucílago y 8.9 en composta de pulpa sola (Soto, 2002)

Cubierta de las vermicomposteras

Las vermicomposteras se cubrieron con un pedazo de sarán de 63% de sombra de un metro cuadrado. El mismo no tuvo el efecto deseado ya que la capa superior de la pulpa se secó por completo convirtiéndose en una capa dura no procesable por la lombriz. Al haber entrada de luz las lombrices no subieron a la capa superior a comer lo que afecta la uniformidad del proceso de vermicompostaje. Se debe utilizar una cubierta que permita el intercambio de gases, provea oscuridad, mantenga la humedad en el medio y proteja a la lombriz de sus enemigos naturales.

Humedad del medio

La pulpa de café utilizada tenía una humedad cerca del 90 % al empezar el experimento. La humedad óptima para el crecimiento y desarrollo de la lombriz es de 70-80 %. Durante las primeras dos semanas se observó un lixiviado espeso que salía por los drenajes de las

vermicomposteras y por la parte inferior de las compuertas lo que es indicativo de un exceso de humedad. Se realizó la prueba de campo realizada por los productores de lombrices. La misma consiste en tomar un puñado del sustrato y apretarlo cerrando la mano con intensidad. Un sustrato con una humedad adecuada libera entre una y dos gotas, si fluye más agua hay un exceso de humedad en el sustrato. Al mes de estar realizando el experimento se detuvo el lixiviado pero aun se podía observar un exceso de humedad en la pulpa.

Los drenajes estaban obstruidos por lo que se procedió a limpiarlos. Este procedimiento no tuvo éxito por lo que se procedió a revolver un poco la vermicomposta junto con las lombrices para proveer oxígeno al medio.

En la Figura 8 podemos ver el por ciento de humedad promedio de los diferentes tratamientos al momento de cosecharse la vermicomposta. Es necesario secar el material para poder pasarlo por la máquina separadora de composta procesada y uniformizar la humedad. Se volteó la misma hacia un lado de la caja vermicompostera para promover la aireación y la pérdida de humedad de modo que el material procesado pase por la cosechadora.. La humedad para el tratamiento 1 y 2 fue de 71 % y de 69 % para el tratamiento 3 y 4. La diferencia fue de 2 % de humedad. De ser mayor la diferencia en el por ciento de humedad se podría afectar los rendimientos de los tratamientos ya que se pueden formar agregados que no permiten al material pasar el material efectivamente por la tela metálica.

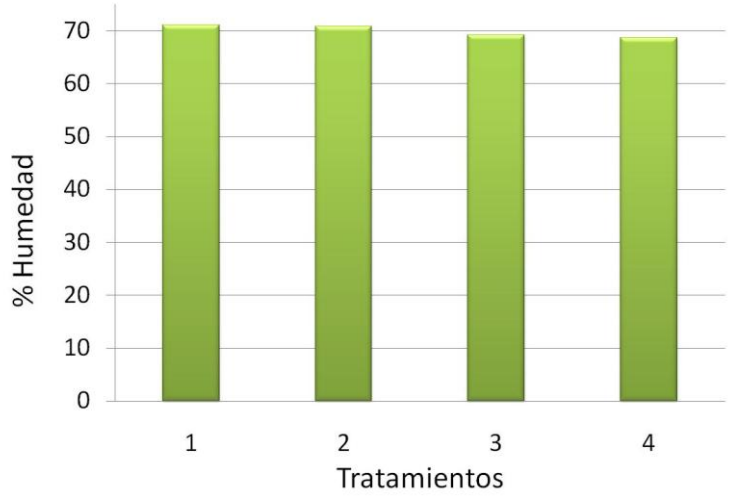


Figura 8. Por ciento de humedad promedio de los tratamientos al momento de cosecha.

Efecto de las larvas de insectos

Durante el experimento se observaron otros organismos como moscas, larvas de insectos, hormigas, coleópteros. Además, de las lombrices, se encontraron larvas de insectos que se alimentaban de la pulpa del café produciendo una composta de buenas características organolépticas. Su tamaño, color, olor y tacto es sumamente similar a la composta producida por las lombrices. Las mismas pudieron haber afectado los resultados de la investigación, ya que hubo una gran incidencia de estas en el tratamiento control de la tercera repetición además de que estuvieron presentes en todos los tratamientos. Durante el experimento pudimos observar una gran cantidad de insectos pertenecientes al orden Díptera y Lepidóptera cuyas larvas se alimentan de la pulpa en descomposición. En especial las moscas *Ornidia obesa* y *Hermetia illucens.* Estas aparecen cerca del área de almacenamiento de pulpa al momento de la cosecha (Figura 9). Probablemente son atraídas por el fuerte olor que produce la pulpa en descomposición. También se encuentra la larva de un lepidóptero. Hay publicaciones en las que se ha utilizado las larvas de estas moscas para procesar desechos orgánicos. (Larde,1989)

Hermetía illucens(www.galerie-insecte.org)

Ornidia obesa (bugguide.net)

Figura 9. Insectos cuyas larvas se alimentan de pulpa de café.

Efecto de la temperatura y humedad relativa

En la Tabla 7 se pueden observar los valores máximos y mínimos de temperatura y la humedad relativa ambiental en el área del experimento. El experimento se realizó entre los meses de noviembre a marzo. El valor máximo de temperatura fue de 33.5°C y el mínimo de 13.5°C. Esta es una temperatura variable lo que tiene un efecto negativo en la lombriz. La humedad

relativa varió desde un 91.4 % hasta un 35.6 %. Estas variaciones en humedad pueden afectar el medio ya que lo pueden secar o por el contrario mantenerlo húmedo, lo que afecta la lombriz.

Tabla 7. Valores de la temperatura ambiental y la humedad relativa

AS1	Temperatura, °C	Humedad Relativa, %
Máxima	33.5	91.4
Mínima	13.5	35.6
Promedio	22.6	75.8

En la Tabla 8 podemos observar las temperaturas de los tratamientos en la primera repetición del experimento. Los datos de temperatura de los tratamientos son variables teniendo una diferencia en la temperatura máxima de 4.4ºC y una diferencia de 3.8ºC en la temperatura mínima. Si observamos la temperatura promedio hubo una diferencia en temperatura de 2ºC lo que es una diferencia mínima y se presume que no tiene un efecto negativo en las lombrices.

Tabla 8. Temperatura de los tratamientos repetición 1.

Tratamiento	Temp. Máxima (ºC)	Temp. Mínima (ºC)	Promedio Temp.(ºC)
I – 1	29.4	20.6	25.0
I – 2	26.4	18.2	23.0
I – 3	30.5	16.8	23.6
I – 4	30.8	17.4	24.1

En la Tabla 9 podemos observar las temperaturas de los tratamientos en la segunda repetición del experimento. La diferencia en temperatura máxima registrada fue de 4.2ºC y el la temperatura mínima de 2.9ºC. Estas diferencias en temperatura pueden estar relacionadas a la ubicación de la camada en el área del experimento y se presume que no tuvieron un efecto negativo en las lombrices. Se puede observar que la temperatura promedio de los tratamiento fue desde 23.37ºC a 24.56ºC lo que es una temperatura adecuada para el crecimiento y desarrollo de las lombrices.

Tabla 9. Temperatura de los tratamientos repetición 2.

Tratamiento	Temp. Máxima (ºC)	Temp. Mínima (ºC)	Promedio Temp.(ºC)
II - 1	33.8	17.3	23.6
II – 2	32.1	16.6	23.7
II – 3	33.6	19.5	24.6
II – 4	29.6	19.3	23.4

En la Tabla 10 podemos observar las temperaturas de los tratamientos en la tercera repetición del experimento. La diferencia en temperatura máxima registrada fue de 2.3ºC y para la mínima de 1.7ºC, por lo que la temperatura fue similar en todos los tratamientos de esta repetición. El promedio de la temperatura estuvo entre 24.1ºC y 26.2ºC lo que es adecuado para el crecimiento y desarrollo de la lombriz.

Tabla 10. Temperatura de los tratamientos repetición 3.

Tratamiento	Temp. Máxima (ºC)	Temp. Mínima (ºC)	Promedio Temp.(ºC)
III – 1	32.1	20.2	26.2
III – 2	30.1	19.7	23.4
III – 3	30.6	18.6	24.1
III – 4	32.4	20.3	24.2

Hubo diferencia en temperatura entre repeticiones del mismo tratamiento. Es por ésta razón que se presume que la variación en temperaturas no es un efecto de la lombriz sino un efecto de la ubicación de las camadas en el área del experimento. Asumiendo que se utilizó la misma pulpa en todos los tratamientos y los censores de temperatura estaban a la misma profundidad.

Capítulo 5: Conclusiones

Referente a los objetivos de desarrollar información para procesar la pulpa de café del beneficiado ecológico en Puerto Rico a través de la vermicomposta la información generada es la siguiente.

- En este experimento no hubo diferencias significativas entre las densidades de lombrices para procesar la pulpa de café en menos tiempo que la composta tradicional.
- La baja poblacional de lombrices en este experimento está relacionada con las propiedades del sustrato ya que el mismo tenía un alto por ciento de humedad, alto valor de pH y no se realizó un proceso previo de compostaje.
- Al momento de la inoculación las lombrices no pasaron por un proceso de aclimatación y la temperatura de la camada era mayor de 32ºC lo que resultó mortal para éstas.
- No se observó una diferencia relevante en el análisis químico entre la vermicomposta y la composta tradicional.
- Se identificaron los factores que afectan la producción de vermicomposta utilizando la pulpa de café en Puerto Rico como la temperatura, pH, humedad, cubierta de la camada y la altura de la camada.
- La composta obtenida en el control y los diferentes tratamientos en esta investigación tuvieron un contenido aproximado al 4 % de N, 1 % de P y 10 % de K lo que tiene su aplicación como fertilizante.
- Es necesario hacer más investigación acerca de la vermicomposta en la isla con pulpa de café antes de integrarla al beneficiado ecológico.

Capítulo 6: Recomendaciones

Se recomienda utilizar lombrices que hayan sido previamente ambientadas a la pulpa de café por un periodo de al menos un mes. Si se utiliza un sistema de aplicación de pulpa por niveles, se debe comenzar con una altura de 10 a 15 cm de material procesado adecuadamente añadiéndole capas de 2.54 cm según sea necesario. Es recomendable colocar un pedazo de cartón o cualquier otra cubierta que mantenga la humedad en la capa superior del sustrato de manera que las lombrices puedan consumirla toda y se evite la formación de una capa dura y seca que dificulte el consumo por la lombriz.

Se debe evitar la formación de una capa densa de pulpa de café para no crear condiciones anaeróbicas. De esto ocurrir, se debe voltear la camada para promover el secado de la misma hasta un 70 – 80 % de humedad. De igual manera, debe mantenerse el material en condiciones aeróbicas. Deben establecerse controles para roedores y hormigas en el área de trabajo para evitar el ataque a las lombrices.

Es recomendable que los tratamientos para propósitos experimentales se empiecen con lombriz pura para tener datos específicos acerca de la cantidad de lombrices real que estamos aplicando a los tratamientos. Se deben tomar muestras del sustrato semanalmente o en la medida que sea posible para determinar la humedad del mismo buscando siempre estar en el rango óptimo para tener una buena reproducción y procesamiento de la pulpa de café.

Es recomendable identificar y hacer mayor investigaciones con las poblaciones e insectos prevalecientes en la masa en descomposición ya que los mismos están disponibles en el área cafetalera y pueden alterar el efecto de las lombrices en los tratamientos ya que las larvas de los mismos también procesan la pulpa de café de una manera muy similar a las lombrices o saber el potencial de estos insectos para producir composta.

Sería una excelente área de investigación estudiar la viabilidad de reproducir estos insectos en cautiverio para el uso agroindustrial de las larvas en el procesamiento de la pulpa de café. Es recomendado observar el efecto que puedan tener diferentes mezclas de pulpa de café con otros sustratos para promover la aireación y un mejor proceso de vermicompostaje.

Bibliografía

1. Álamo C.I., W. Gonzalez, M. Monroig y E. Hernandez, 1999. Evaluación del uso del equipo BELCOSUB para el beneficiado ecológico de café en Puerto Rico. Proceedings Annual Meeting Puertorrican Society of Agricultural Sciences, p.23.

2. Atiyeh, R.M., Arancon, N., Edwards, C.A. y Metzger, J.D., 2000. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. Bioresource Technology 75 3, p. 175–180.

3. Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Subler, S. y Metzger, J., 2000. Earthworm-processed organic wastes as components of horticultural potting media for growing marigold and vegetable seedlings. Compost Science and Utilization 8 3, p. 215–223.

4. Atiyeh, R.M., Arancon, N.Q., Edwards, C.A. y Metzger, J.D., 2002. Incorporation of earthworm-processed organic wastes into greenhouse container media for production of marigolds. Bioresource Technology 81, p. 103–108.

5. Borges S., Humbers, H. y Bayron, R., 2003. In Search for an appropriate Species for Vermicomposting in Puerto Rico, Caribbean Journal of Science, Vol.39, No.2248-250.

6. Departamento de Agricultura de Puerto Rico, 2003-2005. Ingreso Bruto Agrícola. http://www.agricultura.gobierno.pr/stats/main.asp.

7. Edwards, C.A., 1998. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: Earthworm Ecology, CRC Press LLC, Boca Raton, Fl, p. 327–354.

8. Edwards, C.A., 1998. Breakdown of animal vegetable and industrial organic wastes by earthworms In: C.A. Edwards and E.F. Neuhauser, Editors, Earthworms in Waste and Environmental Management, SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands (1988), p. 21–31.

9. Elvira C., J. Dominguez, L. Sampedro & S. Mato, 1995. Vermicomposting for the paper pulp industry, Biocycle *36* (1995), p. 62–63.

10. Elvira C., L. Sapedro, J. Domínguez &S. Mato, 1997. Vermicomposting of wastewater sludge from paper-pulp industry with nitrogen rich materials, Soil Biology and Biochemistry 29, 1997, p. 759-762.

11. Farrell, 1998. Vermicomposting food residuals in two steps, Bio Cycle 39, 1998(76), p.78-79.

12. Garcia, S., 2001. Mitigación del impacto ambiental que generan los sólidos residuales del beneficiado de café a partir de la producción de abono orgánico, Unidad de Control y Gestión de Conocimiento(CADETES) Guantánamo, Cuba

13. Grapelli, A., Galli, E. y Tomati, U., 1987. Earthworm casting effect on *Agaricus bisporus* fructification. Agrochimica 21, p. 457–46.

14. Haimi, J. y V. Huhta. 1986. Capacity of various organic residues to support adequate earthworm biomass for vermicomposting, Biology and Fertility of Soils 2 (1986), p. 23–27.

15. Hand P., W.A. Hayes, J.E Satchell & J.C. Frankland. 1988. The vermicomposting of cow slurry, Earthworms in Waste and Environmental Management, SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands (1988), p. 49-63.

16. Hoitink, H.A. y Fahy, P., 1986. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. Annual Review Phytopathology 24, p. 93–114.

17. Junta de Calidad Ambiental (JCA).1998. Informe Sobre la Evaluación de Fuentes Dispersas en Puerto Rico, JCA, Puerto Rico (1998).

18. JCA. 1990. Guías para la Asignación de Cargas Contaminantes, Junta Calidad Ambiental, Puerto Rico (1990).

19. Larde, G. 1989. Investigation on some factors affecting larval growth in a coffee pulp bed, Biological Wastes, Volume 30, Issue 1, 1989, p.11-19.

20. Marsh, Subler, Mishra y Marini, 1995. Suitability of aquaculture effluent solids mixed with cardboard as a feedstock for vermicomposting , Bioresource Technology Volume 96, Issue 4, March 2005, p. 413-418.

21. Mendez Caratini, H., 1990. Haciendas Cafetaleras de Puerto Rico, Imprenta BPPR: Puerto Rico(1990).

22. Munroe,G., Manual of On Farm Vermicomposting and Vermiculture, Organic Agriculture Centre of Canada, p. 15.

23. Ndegwa, P.M. y S.A. Thompson, 2000. Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids, Bioresource Technology, 75 (2000), p. 7-12.

24. Ndegwa, P.M., S.A. Thompson y K.C. Das, 2000, Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids, Bioresource Technology 71 (2000), p. 5–12.

25. NRCS, 2004. Operation and Maintenance Guidelines for Composting Facility (Code 317) NRCS, Caribbean Area.

26. Oliveros, Álvarez, Ramírez, Sanz, Dávila, Álvarez, 1996. Beneficio Ecológico del Café Una Opción Rentable, CENICAFE Chinchinas, Caldas Colombia.

27. Orozco, F.H., Cegarra, J., Trujillo, L.M. y Roig, A., 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. Biology and Fertility of Soils 22, p. 162–166.

28. Pérez, A. 2007. Comunicación Personal, Centro de Compra y Venta de Café , Departamento de Agricultura, PR.

29. Pumarada, L. 1990. La Industria Cafetalera de Puerto Rico oficina Estatal de Preservación Histórica: S.J. Puerto Rico.

30. Ramos, J.M. 1996. Evaluación química y económica del abono producido por vía microbiana y vía lombrices de tierra. Instituto Tecnológico de Tapachula, Chiapas, México.

31. R. Nogales,C. Cifuentes, E. Benitez, 2005. Vermicomposting of Winery Wastes, A Laboratory Study, Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticidas, Food Contaminants and Agricultural Wastes, 40 4, p. 659-673.

32. R. Sinha, S. Heart, S. Agarwal, R. Asadi y E. Carretero, 2002. Vermiculture and Waste Management: study of action of earthworms *Eisenia foetida*, *Eudrilus euginae and Perionyx excavatus* on biodegradation of some community wastes in India and Australia. The Environmentalist 22 3/p. 261-268.

33. Rynk R., Fornshell, G. Buyuksonmez, F., Hess, T.F., 1998, Composting and Vermiculture: alternative practices for managing manure and mortalities on aquaculture farms, Aquaculture, 1998. World Aquaculture Association Baton Rouge, LA, p. 464.

34. Rynk R., Grabenstein, K., Hess, T.F., 1998 Aquaculture manure as a potential feedstock for vermicomposting. Abstracts of Presentations, Aquaculture ‘98. Las Vegas, Nevada, 15–19 February 1998, p. 465.

35. Schudlt, M. 2002, Las lombrices utilizadas en vermicultivos, Cocinet, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.

36. Siles-Calvo,J.Jimenez-Otarola, F. Faustino, J.Kass,D.L. 1998 Production of organic fertilizer from coffe pulp by composting with earthworms as an alternative to reduce watershed contamination, Agroforestería en las Américas, v. 5. no.20, p.17-21.

37. Soto, G, Muñoz C. 2002, Consideraciones teóricas y practicas sobre el compost y su empleo en la agricultura orgánica, Manejo Integrado de Plagas y Agroecologia(Costa Rica) No. 65 p.123-129.

38. Tomati, U., Grappelli, A. and Galli, E., 1988. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. Biology and Fertility of Soils 5, p. 288–294.

39. Tomati, U., Grapelli, A., Galli, E., 1983. Fertility factors in earthworm humus. In: proceedings of the International Symposium on Agricultural Environment. Prospects in Earthworm Farming. Publication Ministero della Ricerca Scintifica e Technologia, Rome, p. 49-56.

40. USDA-NRCS, Área del Caribe., 2000, Manual de Conservación de Recursos Naturales, Enfoque en la Agricultura, p. 5, 27-28, 40-49.

Apéndices

Apéndice A: Análisis Estadístico

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
% procesado	12	0.65	0.36	24.75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	992.27	5	198.45	2.23	0.1789
Tratamiento	433.20	3	144.40	1.62	0.2810
Bloque	559.07	2	279.53	3.14	0.1168
Error	534.55	6	89.09		
Total	1526.82	11			

Test: LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=18.85777

Error: 89.0913 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
0.00	28.06	3	A
7.00	40.16	3	A
3.00	40.39	3	A
5.00	43.94	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Test: LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=16.33131

Error: 89.0913 gl: 6

Bloque	Medias	n		
2.00	30.16	4	A	
3.00	37.44	4	A	B
1.00	46.83	4		B

Test: Bonferroni Alfa:=0.05 DMS:=29.77116

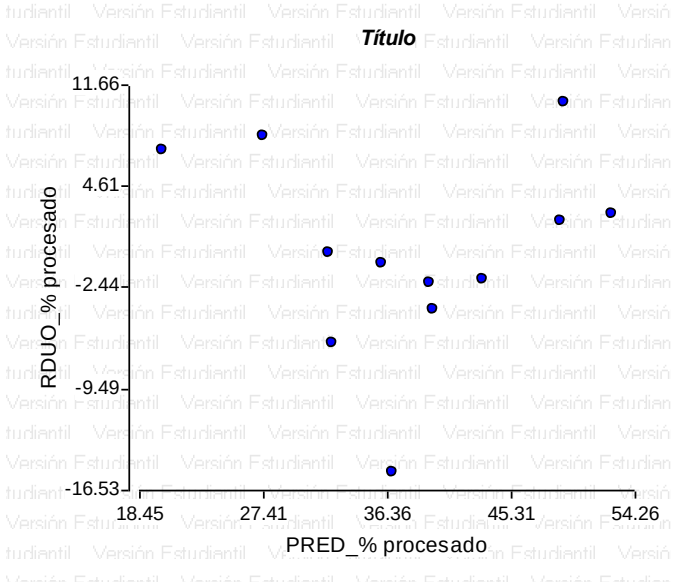
Error: 89.0913 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
0.00	28.06	3	A
7.00	40.16	3	A
3.00	40.39	3	A
5.00	43.94	3	A

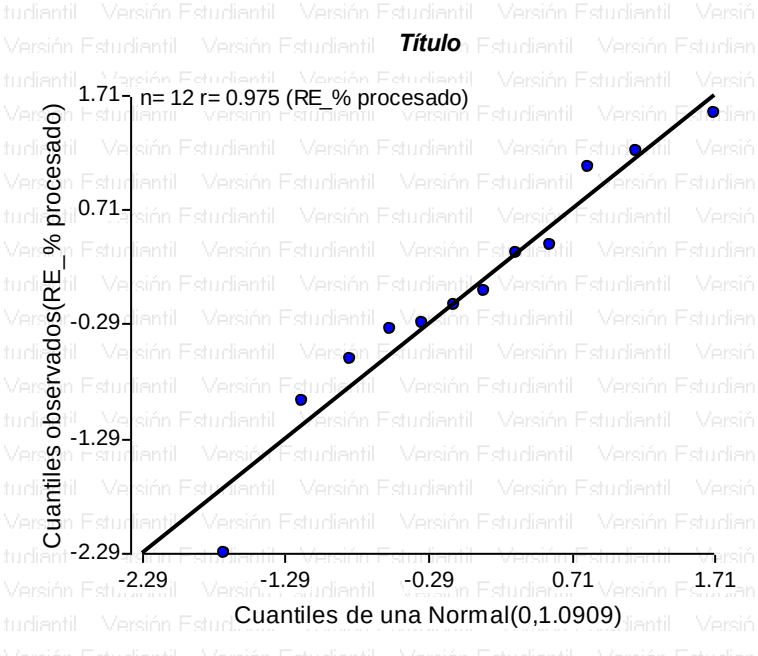
Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Supuestos

Homogeneidad de varianzas



Q-Q plot (normalidad)



Apéndice B. Resultado del Análisis de Sustratos al Final del Experimento

Análisis del Tratamiento 1 (Control, 0 kg de lombriz / m^3 pulpa de café):

Results For : UNIVERSITY OF PUERTO RICO
Sample ID : COFFEE PULP COMPOST
1

		Lbs / Ton		
	Analysis Dry Basis	Dry Basis	As Is Basis	Available First Year As Is Basis
Organic N, % N	3.55	71.1	59.3	11.9
Ammonium, % N	0.02	0.5	0.4	0.4
Nitrate, % N	0.30	6.1	5.1	5.1
Total N (TKN), % N	3.88	77.6	64.8	17.3
Phosphorus, % P_2O_5	1.03	20.7	17.2	12.1
Potassium, % K_2O	9.62	192.4	160.5	144.4
Sulfur, % S	0.60	12.0	10.0	4.0
Calcium, % Ca	1.75	35.1	29.3	20.5
Magnesium, % Mg	0.45	8.9	7.4	5.2
Sodium, % Na	0.10	2.0	1.6	1.6
Zinc, ppm Zn	78.9	0.2	0.1	0.1
Iron, ppm Fe	8722.5	17.4	14.5	10.2
Manganese, ppm Mn	451.8	0.9	0.8	0.5
Copper, ppm Cu	55.9	0.1	0.1	0.1
Boron, ppm B	98.4	0.2	0.2	0.2

Análisis del Tratamiento 2 (3 kg de lombriz / m^3 pulpa de café):

Results For : UNIVERSITY OF PUERTO RICO
Sample ID : COFFEE PULP COMPOST 2

		Lbs / Ton		
	Analysis Dry Basis	**Dry Basis**	**As Is Basis**	**Available First Year As Is Basis**
Organic N, % N	3.72	74.5	61.6	12.3
Ammonium, % N	0.02	0.4	0.4	0.3
Nitrate, % N	0.33	6.6	5.4	5.4
Total N (TKN), % N	4.07	81.5	67.4	18.1
Phosphorus, % P_2O_5	1.04	20.8	17.2	12.0
Potassium, % K_2O	10.18	203.6	168.3	151.4
Sulfur, % S	0.63	12.5	10.4	4.1
Calcium, % Ca	1.72	34.4	28.4	19.9
Magnesium, % Mg	0.40	8.0	6.6	4.6
Sodium, % Na	0.10	2.1	1.7	1.7
Zinc, ppm Zn	67.0	0.1	0.1	0.1
Iron, ppm Fe	6619.3	13.2	10.9	7.7
Manganese, ppm Mn	425.6	0.9	0.7	0.5
Copper, ppm Cu	54.8	0.1	0.1	0.1
Boron, ppm B	96.6	0.2	0.2	0.2
Soluble Salts, mmho / cm	57.31	73.4	60.6	60.6
pH	9.0			
Moisture, %	17.36			
Dry Matter, %	82.64			

Análisis del Tratamiento 3 (5 kg de lombriz / m^3 pulpa de café):

Results For : UNIVERSITY OF PUERTO RICO
Sample ID : COFFEE PULP COMPOST
3

		Lbs / Ton		
	Analysis Dry Basis	**Dry Basis**	**As Is Basis**	**Available First Year As Is Basis**
Organic N, % N	3.51	70.2	58.3	11.7
Ammonium, % N	0.02	0.3	0.3	0.3
Nitrate, % N	0.35	7.0	5.8	5.8
Total N (TKN), % N	3.88	77.5	64.4	17.7
Phosphorus, % P_2O_5	0.98	19.7	16.4	11.5
Potassium, % K_2O	9.80	196.0	162.9	146.6
Sulfur, % S	0.58	11.7	9.7	3.9
Calcium, % Ca	1.56	31.2	25.9	18.1
Magnesium, % Mg	0.39	7.7	6.4	4.5
Sodium, % Na	0.09	1.8	1.5	1.5
Zinc, ppm Zn	77.2	0.2	0.1	0.1
Iron, ppm Fe	7316.9	14.6	12.2	8.5
Manganese, ppm Mn	428.5	0.9	0.7	0.5
Copper, ppm Cu	53.5	0.1	0.1	0.1
Boron, ppm B	96.9	0.2	0.2	0.2
Soluble Salts, mmho / cm	60.78	77.8	64.6	64.6
pH	8.8			
Moisture, %	16.92			
Dry Matter, %	83.08			

Análisis del Tratamiento 4 (7 kg de lombriz / m^3 pulpa de café):

Results For : UNIVERSITY OF PUERTO RICO
Sample ID : COFFEE PULP COMPOST
4

		Lbs / Ton		
	Analysis Dry Basis	**Dry Basis**	**As Is Basis**	**Available First Year As Is Basis**
Organic N, % N	3.36	67.3	56.2	11.2
Ammonium, % N	0.02	0.3	0.3	0.3
Nitrate, % N	0.32	6.5	5.4	5.4
Total N (TKN), % N	3.70	74.1	61.9	16.9
Phosphorus, % P_2O_5	0.94	18.8	15.7	11.0
Potassium, % K_2O	9.29	185.9	155.4	139.9
Sulfur, % S	0.57	11.5	9.6	3.8
Calcium, % Ca	1.51	30.1	25.2	17.6
Magnesium, % Mg	0.41	8.1	6.8	4.8
Sodium, % Na	0.10	2.0	1.7	1.7
Zinc, ppm Zn	70.0	0.1	0.1	0.1
Iron, ppm Fe	8931.2	17.9	14.9	10.5
Manganese, ppm Mn	426.8	0.9	0.7	0.5
Copper, ppm Cu	54.5	0.1	0.1	0.1
Boron, ppm B	99.1	0.2	0.2	0.2
Soluble Salts, mmho / cm	59.21	75.8	63.4	63.4
pH	8.8			
Moisture, %	16.39			
Dry Matter, %	83.61			