

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA-LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA**



Determinación de puntos críticos de temperatura, humedad y pH en los procesos de producción de los abonos orgánicos bokashi y lombriabono como parte de la gestión de calidad, Campus Agropecuario, diciembre 2013-abril 2014.

Presentado por:

Br. Pedro Fernando Silva Illescas

Br. Darling Ramona Rivera Montenegro

Tutor: M.Sc. Jorge Luís Rostrán

Ph.D. Ana Cristina Rostrán

Trabajo presentado como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero en
Agroecología Tropical.

Nicaragua, León

Febrero del 2015

“A la libertad por la Universidad”

DEDICATORIA

Dedico este trabajo al porvenir, a una vida entregada al cumplimiento de mis sueños.

A los sueños que quedaron atrás y no se pudieron cumplir.

A Azorka el ser maravilloso que estuvo a mi lado por ocho hermosos años, llenando de luz mi vida.

Pedro Fernando Silva Illescas

A Dios por darme la fuerza y sabiduría necesaria para llevar a cabo satisfactoriamente este trabajo investigativo.

A mis padres por brindarme siempre su confianza y apoyo incondicional.

A mis maestros que compartieron conmigo el pan de la enseñanza.

A mi esposo por ayudarme siempre a levantar mi ánimo infundirme esperanza y estar conmigo en todo momento

A mi hija por ser esa lucecita que me da fuerzas para seguir luchando.

Darling Ramona Rivera Montenegro

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida que me otorga y por las fuerzas para continuar, por permitirme luchar para cumplir mis sueños.

A mi madre Damaris Jeaneth Illescas Martínez, por entregar su vida al cuidado de mi hermano y mío, dejando en segundo plano el cumplimiento de sus sueños. Por los valores y principios que nos ha inculcado, y por amarnos más de lo que se ama a ella misma.

A mi hermano Andrés Silva Illescas por el apoyo que diariamente me otorga, permitiéndome concluir mis estudios.

A mi familia, porque gracias a ellos soy la persona que soy.

A mis tutores M.Sc Jorge Luis Rostrán Molina y Ph.D Ana Cristina Rostrán Molina, por todo el esfuerzo y dedicación que han mostrado en la realización de esta investigación.

A todos mis maestros, porque gracias a ellos adquirí los conocimientos y habilidades que necesito para ser un profesional digno, en especial los maestros Jorge Luis Rostrán Molina, Miguel Barcenaz Lanzas, Carmen Marina Rizo Zeledón, Xiomara Castillo y Mirna Ortiz, por todos sus consejos para hacer de mí, una persona de bien y por todo el conocimiento que dedicadamente me han enseñado fuera de las aulas de clases.

A mi compañera Darling Rivera Montenegro y a su esposo Elvis Valdivia por su apoyo durante la realización de esta investigación.

A mis compañeros y amigos que me han apoyado durante estos seis años de estudio de manera incondicional, por haber estado a mi lado en los momentos más difíciles.

Pedro Fernando Silva Illescas

Agradezco a Dios y a la virgen santísima que me permitieron realizar todas las actividades necesarias para llevar a cabo esta investigación y la fuerza y sabiduría necesaria para hacerlo.

A mis padres Darío Rivera y Juana Montenegro por brindarme su confianza y apoyo incondicional.

A mis tutores M.Sc. Jorge Luis Rostrán Y Ph.D. Ana Cristina Rostrán por sus aportes científicos tan valiosos y su tiempo dedicado para realizar nuestra investigación.

A mis maestros que compartieron conmigo sus conocimientos a lo largo de mi carrera universitaria.

A mi esposo Elvis Valdivia por su apoyo y a mi hija Emily por ser esa lucecita que me da fuerzas para seguir adelante.

Darling Ramona Rivera Montenegro

RESUMEN

En el Área de Investigación y Producción de Abonos Orgánicos del Campus Agropecuario de la UNAN-León se realizó esta investigación en el periodo de diciembre 2013-abril 2014, con el objetivo de determinar los puntos críticos en los procesos de elaboración del lombriabono, bokashi y definir criterios de calidad en el proceso de elaboración de los abonos. Se realizaron dos experimentos, en el primero un, DBA, se evaluaron capas de alimento de 1cm y 2cm de espesor (litros/kg de estiércol) en la producción de lombriabono. En el segundo un DBA, se evaluaron tierra y material compostado en la elaboración del bokashi, ambos experimentos con tres replicas por tratamiento. Se determinaron las variables humedad y temperatura ambiental; humedad, temperatura y pH de los canteros de lombrices y de los lotes de bokashi. El análisis de los datos se efectuó mediante ANOVA y gráficos usando el programa SPSS 19. En las condiciones abióticas existe diferencia significativa en las horas de muestreo pero no entre los puntos de muestreo. Las temperaturas oscilaron entre 10-27°C en lombriabono y 27-68°C en bokashi. La humedad oscilo entre 70-100% en lombriabono y 0-89% en bokashi. El pH entre 6-9 para lombriabono y bokashi. Los puntos críticos en temperatura son 17.11-17.74°C en lombriabono y 41.47- 44.49°C en bokashi. Humedad 84.16-91.02% en lombriabono y 11.91-16.4% en bokashi. pH 6.78-7.14 en lombriabono y 7.53-8.07 para bokashi.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLA	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. MARCO TEÓRICO.....	5
4.1. Conceptos básicos.....	5
Lombrices	5
Características de las lombrices.....	5
Reproducción de las lombrices	6
Lombriabono	6
Composición química	6
pH	7
Características físicas	7
Cantero	7
Bokashi	8
Sistemas de gestión de calidad	9
Puntos críticos	9
Normalización.....	10
Normas Técnicas.....	10
4.2. Etapas del proceso de producción del lombriabono	11
4.2.1. Establecimiento del pie de cría.....	11
4.2.2. Alimentación de las lombrices.....	11
4.2.3. Cosecha	12
4.3. Proceso de elaboración del bokashi	12
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
5.1. Ubicación del experimento.....	14
5.2. Diseño experimental	15
5.3. Manejo del experimentos y variables a medir.....	15
5.3.1. Lombriabono	16
5.3.2. Bokashi	17
5.4. Análisis estadístico	18
Definición de variables y medidas.....	19
VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	20

6.1. Relación entre temperatura y humedad relativa dentro de la galera de producción de abonos orgánicos.....	20
6.2. Descripción de las variables temperatura, porcentaje de humedad y pH dentro de los canteros de producción de lombriabono.....	22
6.3. Determinación de las variables temperatura, humedad y pH en los lotes de producción de bokashi	28
6.4. Determinación de puntos críticos.....	34
6.4.1. Puntos críticos en el proceso de elaboración de lombriabono	34
6.4.2. Puntos críticos en el proceso de elaboración de bokashi	37
6.5. Producción de lombrices, lombriabono y bokashi.....	40
6.6. Características químicas de lombriabono y bokashi	42
VII. CONCLUSIÓN	44
VIII. RECOMENDACIONES	46
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	47
X. ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Condiciones ambientales evaluadas dentro de la galera de producción	19
Tabla 2: Variables evaluadas en el Experimento Lombriabono.....	19
Tabla 3: Variables evaluadas en el Experimento Bokashi	19
Tabla 4: Producción en kilogramos de lombrices y metros cúbicos de lombriabono y bokashi en un ciclo de producción.....	41
Tabla 5: Análisis químico de los parámetros conductividad eléctrica y porcentaje de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en los abonos orgánicos lombriabono y bokashi.....	43
Tabla 6: Análisis de varianza a las condiciones abióticas de la galera de producción de abonos orgánicos.....	50
Tabla 7: Resultados de la prueba de Tukey para sub conjuntos homogéneos realizados a las condiciones abióticas dentro de la galera de producción de abonos.	50
Tabla 8: Análisis de varianza de las variables temperatura, porcentaje de humedad y pH dentro de los canteros de producción de lombriabono.....	50

Tabla 9: Resultados de la prueba de Tukey para sub conjuntos homogéneos realizados a las variables temperatura y pH dentro de los canteros de producción de lombriabono.....	50
Tabla 10: Análisis de varianza de las variables temperatura, porcentaje de humedad y pH en lotes de producción de bokashi.	51
Tabla 11: Estadísticos descriptivos de la temperatura, humedad y pH en la etapa de alimentación de las lombrices.	53
Tabla 12: Estadísticos descriptivos de la temperatura, humedad y pH en la etapa de fermentación del abono y control de la temperatura.	53
Tabla 13: Litros de estiércol, agua y alimento suministrados en los canteros de producción de lombriabono.	53
Tabla 14: Hoja de muestreo para la recolección de datos del experimento lombriabono	54
Tabla 15: hoja de muestro para la recolección de datos del experimento bokashi.	54

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 2: Relación entre temperatura y humedad relativa dentro de la galera de producción de abonos orgánicos..	22
Figura 3: Comportamiento de la temperatura en grados centígrados en canteros de producción de lombriabono con espesores de 1cm y 2cm de capa de alimento.	24
Figura 4: Comportamiento de la humedad dentro de los canteros de producción de lombriabono con espesores de 1cm y 2cm de capa de alimento.	26
Figura 5: Comportamiento del pH dentro de los canteros de producción de lombriabono con espesores de 1cm y 2cm de capa de alimento.....	28
Figura 6: Descripción de la temperatura en grados centígrados en lotes de producción de bokashi elaborado con tierra y material compostado en dos momentos, antes y después de volteo.	30

Figura 7: Descripción de la humedad en los lotes de producción de bokashi elaborado con tierra y material compostado en dos momentos, antes y después de volteo..	32
Figura 8: Descripción del pH en los lotes de producción de bokashi elaborado con tierra y material compostado en dos momentos, antes y después de volteo.....	34
Figura 9: Puntos críticos de la variable temperatura en el proceso de elaboración de lombriabono durante la etapa de alimentación de las lombrices.....	35
Figura 10: Puntos críticos de la variable humedad en el proceso de elaboración de lombriabono durante la etapa de alimentación de las lombrices.	36
Figura 11: Puntos críticos de la variable pH en el proceso de elaboración de lombriabono durante la etapa de alimentación de las lombrices.	37
Figura 12: Puntos críticos de la variable temperatura en el proceso de elaboración de bokashi durante la etapa de fermentación del abono y control de la temperatura.....	38
Figura 13: Puntos críticos de la variable humedad en el proceso de elaboración de bokashi durante la etapa de fermentación del abono y control de la temperatura.	39
Figura 14: Puntos críticos de la variable pH en el proceso de elaboración de bokashi durante la etapa de fermentación del abono y control de la temperatura.	40

I. INTRODUCCIÓN

Es imprescindible para Nicaragua que exista una norma sobre los procesos de producción de los abonos orgánicos. Los abonos se encuentran definidos en el marco de la Ley 765, Ley de Fomento a la Producción Agroecológica y Orgánica y de las Normativas Técnicas Obligatorias Nicaragüenses (NTON) 11037. Se consideran abonos orgánicos: lombriabono (lombrihumus), bokashi, compost, fermentos, microorganismos eficientes y caldos minerales. Estos productos deben cumplir requisitos que permitan ser usados en los planes o programas de fertilización a nivel nacional.

La NTON 11037 es la encargada de regular la producción de los abonos orgánicos en Nicaragua. En esta norma se presentan los aspectos globales de regulación. Sin embargo se obvian algunos aspectos importantes del proceso de producción de los abonos orgánicos. Uno de estos aspectos está asociado a los puntos críticos del proceso de producción de los abonos orgánicos en general. La Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León) produce en Campus Agropecuarios Abonos Orgánicos, en el Área de Investigación y Producción de Abonos Orgánicos. En el periodo de diciembre del 2013 a abril del 2014, se diseñaron dos experimentos. Un experimento se diseñó con dos tratamientos del abono tipo lombriabono. El otro experimento se diseñó con dos tratamientos de abono tipo bokashi.

Internacionalmente, las Normas ISO 9000 asisten a organizaciones, de todo tipo y tamaño, en la implementación y operación de sistemas de la calidad eficaces, incluyendo organizaciones encargadas en la producción de abonos orgánicos. En el mundo se reportan diversas instituciones que ofrecen abonos orgánicos, sin embargo son pocos los países que certifican este tipo de productos. Organic Materials Review Institute (OMRY) es un organismo no gubernamental que se encarga de la certificación de productos orgánicos, incluyendo los abonos, a nivel internacional (Quiminet, 2000).

En España, la Entidad Nacional Acreditadora (ENAC) evalúa y dictamina formalmente que una organización es técnicamente competente y realiza la certificación de fertilizantes de acuerdo a la norma UNE-EN-ISO/IEC17065 (Ministerio De Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2013).

En Estados Unidos, el estado de California por medio del Departamento de Agricultura emite las certificaciones, California Department of Food and Agriculture (CDFA), certifica si un abono orgánico es apto para la agricultura orgánica (Quiminet, 2000). En México, existen organismos encargados de la certificación de productos orgánicos, entre los Organismos de certificación aprobados por la secretaria de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) se encuentran Certimex, MAYACER México Sc y Metrocert (Somexpro, 2007). Biotrópico (2010) en Colombia, es una entidad que certifica la producción de abonos orgánicos tipo lombriabono y otros. No se reportan en Centroamérica instituciones que certifiquen los abonos orgánicos, el desarrollo de ese tema es incipiente para Nicaragua, aunque existe un marco legal favorable para su desarrollo.

En este trabajo se presenta la información necesaria para determinar los puntos críticos en la elaboración de los abonos orgánicos tipo lombriabono (estiércol de lombriz) y bokashi. El establecimiento de puntos críticos permite tener un mayor control en el proceso de producción de los abonos orgánicos, por lo tanto, los abonos elaborados con dicho proceso serán homogéneos.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar los puntos críticos de temperatura, humedad y pH en los procesos de elaboración en abonos orgánicos tipo lombriabono y bokashi en el área de investigación y producción de abonos orgánicos del Campus Agropecuario de la UNAN-León.

Objetivos específicos

- Evaluar las fluctuaciones de temperatura, humedad y pH, en los procesos de producción de los abonos orgánicos lombriabono y bokashi.
- Establecer puntos críticos de temperatura, humedad y pH en los procesos de producción de lombriabono y bokashi.
- Cuantificar la producción de los abonos lombriabono y bokashi.
- Determinar las características químicas de los abonos lombriabono y bokashi.

III.HIPÓTESIS

Hi: Los procesos de elaboración de abonos orgánicos tipo bokashi y lombriabono en estudio influyen en los valores de temperatura, humedad y pH para la determinación de los puntos críticos en cada proceso de producción.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. Conceptos básicos

Lombrices

Las lombrices son organismos que pertenecen al reino animal tipo anélidos de la clase oligoquetos. Poseen cabeza, tronco y una región terminal, en donde se distingue el ano. Son hermafroditas sin embargo no pueden auto fecundarse (Salas & Sánchez, 1993).

Se estima que existen en el planeta más de 8500 especies de lombrices de tierra, entre las cuales *Lumbricus terrestres*, es la más conocida; sin embargo en la lombricultura se utilizan especies con características como: alta ingestión de alimento, alta capacidad reproductiva, fáciles de trabajar en cautiverio y con capacidad de adaptarse a condiciones adversas. Las especies utilizadas en el 80% de los criaderos a nivel mundial son *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei*. (SAGARPA, 2002).

Características de las lombrices

Las especies más conocidas son *Eisenia foetida* y *Eudrillus sp.*, estas pertenecen al reino animal, siendo gusanos verdaderos de cuerpo cilíndrico, el cual está compuesto por anillos que extienden y retraen, permitiéndoles el desplazamiento. Las lombrices poseen una actividad fisiológica elevada debido a que poseen cinco corazones y seis riñones, esta característica es de gran importancia en la producción de lombriabono, permite a las lombrices excretar grandes cantidades de lombrihumus. La ausencia de melanina en las lombrices las convierte en organismos muy susceptibles a los rayos ultra violeta, pero manejando las condiciones de reproducción el tiempo de vida de las lombrices puede llegar hasta 16 años (Graham, 2010).

Reproducción de las lombrices

Las lombrices son organismos hermafroditas que alcanzan la madures sexual a los 90 días, sin embargo no pueden auto fecundarse, por lo que necesitan de una pareja para intercambiar gametos, mediante el trenzado y exudado de un líquido blanquecino que es absorbido por el clitelo, acto seguido de la puesta de cocones o huevos de tres a cinco días después. Estos cocones pueden medir de 2 a 4 mm y eclosionan a los 12 o 14 días dependiendo de las condiciones reinantes. Las lombrices se reproducen una vez a la semana y ponen uno o dos cocones, de los cuales pueden nacer de dos a 21 lombrices en dependencia de las condiciones (Alarcón, 2010). En estudios realizados por Rostrán (2012), se obtienen tres generaciones de lombrices al finalizar un ciclo de producción de tres meses.

Lombriabono

Son las heces de la lombriz que después de transitar por el aparato digestivo se transforma en humus enriquecido con bacterias, hongos, levaduras, ácidos húmicos, fúlvicos, fito hormonas de germinación, crecimiento, floración y fructificación (Solano, 2009).

El lombriabono es el residuo de la alimentación de las lombrices, estas pueden ingerir su propio peso en alimento diariamente, de esto asimilan el 40% para mantener sus necesidades fisiológicas y el otro 60% es excretado. El lombriabono es uno de los mejores abonos orgánicos por su alto contenido en nutrientes esenciales para el desarrollo de la planta, como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio (Brechelt, 2001). Rostrán (2012) añade otras componentes al análisis como son materia orgánica, pH, y conductividad eléctrica. La importancia del estudio de los componentes físicos y químicos del lombriabono radica en que son estas las que determinan la calidad del lombriabono.

Composición química

La composición química del lombriabono va a estar en dependencia de la calidad de los desechos consumidos por las lombrices. En el Campus Agropecuario se

obtiene lombriabono con los siguientes porcentajes de nutrientes: 3.36% de nitrógeno, 2.98% de fósforo, 1% de potasio, 1% de magnesio, 2.66% de calcio y un 39.3% de Materia orgánica (Rostrán, 2012).

pH

El pH del lombriabono es prácticamente neutro oscilando sus valores entre 6.8 y 7.2, esta característica nos permite mantener la semilla en contacto directo con el lombriabono sin causar daño a la semilla (Rostrán, 2012). Según Picado y Añasco (2005), los valores del pH oscilan entre 6 y 7.5.

Características físicas

Su color varía entre negro, café oscuro y gris, dependiendo del desecho utilizado para alimentar a las lombrices. No tiene olor y es granulado. La granulometría, así como, la capacidad de asimilación del lombriabono son características importantes, las cuales determinan la calidad del abono. El grano varía de diámetro y en dependencia de esto su asimilación, siendo el grano más fino el más asimilable (Díaz, 2002). Estudios realizados por Rostrán (2012) muestran que en el Área de Investigación y Producción de Abonos Orgánicos del Campus Agropecuario, la granulometría del lombriabono está determinada por el calibre del tamiz utilizado en el proceso de cosecha. El calibre utilizado en el Campus Agropecuario es de un milímetro.

Cantero

Se conoce como cantero a las estructuras en donde se establecen las lombrices para reproducirlas y producir lombriabono. Los canteros se construyen sobre la tierra o pavimento utilizando madera o concreto. Según (Graham, 2010) los canteros deben construirse junto a un poso captor que permita recolectar lombriabono líquido, conocido también como purín de lombrices.

Bokashi

El bokashi es un abono orgánico fermentado suave de origen japonés. El bokashi se elabora en un proceso de semi-descomposición aerobia de residuos orgánicos, por medio de microorganismos presentes en los propios residuos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2011).

La producción de bokashi es una práctica que fortalece los procesos de producción de los agricultores debido a que permite obtener mayor cantidad de abono en menos tiempo, aumenta el rendimiento de los cultivos y mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Cabrera, 2011).

El bokashi debe tener color homogéneo y olor agradable a fermento, con una temperatura estable. Las variaciones de temperatura generan cambios en el pH; que conlleva a una pérdida de nitrógeno. Por ello el pH tiene un rango de 6.5 a 7.5 (Rostrán, 2012).

En el Área de Investigación y Producción de Abonos Orgánicos de la UNAN-León se utiliza para elaboración de bokashi: tierra, cascarilla de arroz carbonizada, gallinaza, semolina, almidón y dulce de caña. A continuación se hace una descripción sucinta de las componentes del bokashi que formula Restrepo (2007) que es similar al adaptado en la UNAN-León.

Tierra: Debido a que generalmente la tierra posee arcilla la tierra confiere la capacidad de intercambio catiónico al bokashi y brinda las condiciones necesarias para las actividades microbiológicas de los abonos a la vez que le da una mayor homogeneidad física y buena distribución de humedad.

Gallinaza: es la principal fuente de nitrógeno y fósforo en la elaboración de abonos orgánicos

Cascarilla de arroz carbonizada: al mezclarse con el suelo mejora características físicas como aireación, absorción de agua y termo regulador a la vez que constituye un hábitat propicio para los microorganismos.

Semolina de arroz: gracias a su alto contenido de carbohidratos es un buen alimento para microorganismos, además aporta nitrógeno y es rica en otros nutrientes tales como fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Dulce de caña: constituye la principal fuente de energía para la fermentación de los abonos orgánicos además es rico en potasio, calcio, magnesio y micronutrientes principalmente boro.

Almidón: constituye una importante fuente de carbohidratos de asimilación inmediata para los microorganismos, permitiendo el inicio de la explosión poblacional de estos en la elaboración del bokashi.

Sistemas de gestión de calidad

Las ISO 9000 definen calidad como la facultad de un conjunto de características inherentes de un producto, sistema o proceso para cumplir los requisitos de los clientes y otras partes interesadas.

Un Sistema de Gestión de Calidad es una herramienta que permite a cualquier organización planear, ejecutar y controlar las actividades necesarias para el desarrollo de la misión, a través de la prestación de servicios con altos estándares de calidad, los cuales son medidos a través de los indicadores de satisfacción de los usuarios y otras partes interesadas (Deming, 1989).

Puntos críticos

Se conoce como punto crítico, a todo criterio que diferencia la aceptabilidad o inaceptabilidad del proceso en una determinada fase. En determinados casos, para una determinada fase, se elaborará más de un punto crítico. Entre los

criterios aplicados suelen figurar las mediciones de temperatura, tiempo, nivel de humedad, pH, así como parámetros sensoriales como el aspecto y la textura (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, 1997).

Normalización

La Normalización es la actividad de formular y aplicar técnicas con el propósito de establecer un orden en una actividad específica, para beneficio y con la cooperación de todos los interesados (consumidores, productores, comunidad científica y gobierno) coadyuvando a elevar los niveles de competitividad con calidad en la economía y teniendo en cuenta las condiciones funcionales y los requisitos de seguridad que requiera el ámbito socioeconómico en que pretendan aplicar (MIFIC, 2014).

Normas Técnicas

Una norma técnica es un documento aprobado por un organismo reconocido que establece especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico, que hay que cumplir en determinados productos, procesos o servicios. Las normas ofrecen un lenguaje común entre las empresas, administraciones, los usuarios y los consumidores. Las normas ofrecen los mecanismos necesarios que fundamentan la confianza entre el proveedor del producto y el consumidor. Las normas son documentos que poseen las siguientes características:

- Contienen especificaciones técnicas de aplicaciones voluntarias.
- Son elaboradas por consenso entre las partes interesadas: fabricantes, administraciones públicas, usuarios, consumidores, centros de investigación, laboratorios, asociaciones, etc.
- Están basados en los resultados de la experiencia y el desarrollo tecnológico.
- Son aprobados por un organismo nacional, regional o internacional de normalización reconocido.
- Están disponibles al público (Ramis, 2001).

4.2. Etapas del proceso de producción del lombriabono

En el Área de Investigación y Producción de Abonos Orgánicos de la UNAN-León se implementa un proceso de producción de lombriabono derivado de la metodología de Martínez (1996) adaptado a las condiciones de Nicaragua. Las etapas del proceso de producción son: establecimiento del pie de cría, manejo de las lombrices y cosecha. A continuación se describe el proceso de producción adaptado por Rostrán (2012).

4.2.1. Establecimiento del pie de cría

Se debe construir el cantero para el establecimiento del pie de cría, posteriormente se prepara la cama de estiércol seco y/o tierra, donde se siembran las lombrices. Esta cama debe tener 75-85% de humedad, de 15 a 25°C de temperatura y 5-10cm de altura. La cantidad mínima de lombrices con la que se inicia el pie de cría es de 1kg por metro cuadrado.

4.2.2. Alimentación de las lombrices

Las lombrices son organismos que por su fisiología son muy susceptibles a factores bióticos y abióticos, por tanto para su reproducción y desarrollo se debe tomar en cuenta aspectos relevantes que se describen a continuación:

a) Se prepara el alimento de las lombrices usando estiércol fresco mezclado con agua. Se utiliza el agua para conseguir una mezcla menos densa y de fácil ingesta para las lombrices. La cantidad de alimento a suministrar será igual a la cantidad de lombrices en el pie de cría.

b) El alimento debe tener un pH entre 6 y 8; y 75-85% de humedad. Se debe aplicar el alimento sobre los canteros en capas de uno a dos centímetros de altura. Se debe alimentar a las lombrices cada tres o cuatro días. Los días en los que no se alimenten las lombrices, se riegan los canteros para garantizar la humedad del sustrato.

c) Los canteros deben taparse con cualquier material que permita la entrada de aire a las lombrices, pero que impida el acceso hacia los canteros por parte de enemigos naturales como: hormigas, sapos, roedores, aves y cerdos.

d) Deben garantizarse condiciones controladas de pH que debe oscilar entre 6 y 8. La humedad relativa debe estar entre 75 y 85%, la temperatura no excederse del intervalo 15 a 25°C.

4.2.3. Cosecha

La cosecha de las lombrices se hace en intervalos de dos a tres meses para obtener al menos tres generaciones de lombrices. Para determinar que el tiempo de cosecha es el adecuado, se introduce una pala en el cantero y se deben obtener entre 100 y 150 lombrices por palada, otra manera es introducir la mano en el cantero y obtener de 40 a 50 lombrices por puñada.

Antes de cosechar las lombrices, se suspende la alimentación de las lombrices de cuatro a seis días para garantizar que las lombrices colonicen el nuevo alimento. Luego se coloca una trampa de 8 a 12cm de altura en el centro del cantero. Una vez que las lombrices colonizan la trampa, se retira la trampa y se coloca en un nuevo cantero. Se debe colocar entre dos a tres trampas para garantizar la obtención del 90 a 95% de las lombrices.

La cosecha del lombriabono se realiza después de la cosecha de las lombrices. Se coloca el lombriabono sobre un plástico en un lugar seco y con sombra. Se voltea el abono dos a tres veces por semana hasta obtener una humedad entre 30 y 40%, posteriormente se tamiza para obtener un producto homogéneo y se empaca.

4.3. Proceso de elaboración del bokashi

El proceso de producción del bokashi permite controlar las condiciones bajo las cuales se elabora el abono. A continuación se describe el control de la temperatura y el proceso de fermentación según Rostrán (2012). Para esto se debe considerar:

a) El control de la temperatura: muchos microorganismos que realizan una labor importante en el proceso de descomposición de los materiales no sobreviven a temperaturas elevadas. La temperatura no debe sobrepasar los 50°C, también se producen pérdidas de nitrógeno en forma de amonio.

b) Importancia de la fermentación de los materiales: Debido a la ausencia de oxígeno muchos microorganismos plagas se mueren y únicamente sobreviven organismos que se adaptan a condiciones anaerobias que generalmente son microorganismos benéficos, las semillas de malezas de igual forma no toleran la ausencia de oxígeno por tanto no germinan.

El proceso de elaboración del bokashi implementado en el Área de Investigación y Producción de Abonos Orgánicos del Campus Agropecuario de la UNAN-León, se adquirió mediante un intercambio de experiencias con los ingenieros Kasuhiro Naruo y Tomoko Tajiri en el año 2002. La preparación del bokashi se realiza en un lugar protegido del sol, el viento y la lluvia. Se procede de la siguiente manera:

a) Se tamiza la tierra y se mezcla homogéneamente con el resto de los materiales. Se debe agregar agua hasta obtener 50% de humedad, posteriormente se extiende el abono en una capa de no más de 50cm de altura.

b) El bokashi se voltea de dos a tres veces al día para controlar la humedad a menos de 50% y la temperatura a menos de 50°C. Al finalizar el volteo del abono se tapa para mantener la humedad y temperatura. Al cabo de 7 a 10 días el bokashi está completamente seco y listo para ser empacado.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del experimento

La investigación se llevó a cabo en el Área de Investigación y Producción de Abonos Orgánicos del Campus Agropecuario de la UNAN-León, situado 1 ½ km al este de la entrada a la Ceiba en las coordenadas 12°25'19.36"N y 86°51'08.80"O (US Dept of State Geographer, 2014), en el periodo comprendido entre diciembre del 2013 y abril del 2014. El sitio tiene suelos franco arenosos y está ubicado a 110 msnm con viento promedio de 0 a 30 km por hora, humedad relativa del 75% y una precipitación anual de 1250mm (UNAN-León-CNRA, 2010).

La galera de producción de abonos orgánicos donde se realizaron los experimentos se encuentra protegida perimetralmente por maya sombra 80%. Esto reduce la luminosidad dentro de la galera, permitiendo la ventilación y ello la evacuación de gases producidos en los procesos de elaboración de abonos orgánicos derivados de la descomposición y/o transformación de la materia orgánica. La orientación de la galera está en dirección este-oeste, esta orientación optimiza la ventilación del área y contribuye a regular la temperatura y humedad dentro de la galera.



Figura 1: Ubicación del Área de investigación y producción de Abonos Orgánicos del Campus Agropecuario (US Dept of State Geographer, 2014).

5.2. Diseño experimental

Se diseñaron dos experimentos de Bloques Completos Aleatorios

El primer experimento consistió en dos tratamientos con lombriabono:

- 1) Capas de alimentos con espesor de 1cm
- 2) Capas de alimentos con espesor de 2cm

Los bloques fueron las horas de muestreo: 7:00am, 12:00pm y 4:30pm.

El Experimento con lombriabono tiene como unidad experimental canteros de 2m² para los tratamiento de 1 y 2cm de capa de alimento y tres repeticiones para cada tratamiento.

Para el segundo experimento se realizaron dos tratamientos de bokashi:

- 1) Elaborado con tierra
- 2) Elaborado con material compostado

Los bloques fueron las horas de muestreo: 9:00am y 3:00pm

Para el bokashi, la unidad experimental estuvo constituida por lotes de producción de 0.36m³ y se utilizaron tres repeticiones para cada tratamiento.

5.3. Manejo del experimentos y variables a medir

Para tener un buen control de la temperatura, humedad y pH de los canteros de producción de lombriabono y de los lotes de producción de bokashi, es necesario tener condiciones homogéneas dentro del establecimiento en donde se elaboran estos abonos.

En esta investigación se evaluaron la temperatura y humedad relativa dentro de la galera de producción de abonos orgánicos para determinar la homogeneidad de estas condiciones.

La temperatura y humedad relativa se midieron utilizando un termohigrómetro digital que registraba los valores de temperatura en grados centígrados y la humedad relativa en porcentaje.

Las mediciones de temperatura y humedad relativa dentro de la galera de producción de abonos orgánicos se hicieron en tres puntos ubicados en una línea en diagonal. El punto uno se ubicó en la esquina noreste, el punto dos ubicado en el centro de la galera y el punto tres ubicado en la esquina suroeste de la galera, con una separación de 9.5m entre cada punto. Las mediciones se realizaron a las 7:00am, 12:00pm y 4:30pm en cada punto.

5.3.1. Lombriabono

En este experimento se implementó el procedimiento a continuación descrito.

5.3.1.1. Establecimiento del pie de cría

Para establecer el pie de cría se crearon canteros de dos metros cuadrados utilizando bloques de concreto y plástico negro. Posteriormente, se pesaron 2kg de lombrices y 0.06m³ de tierra para el establecimiento de cada repetición. Las especies utilizadas en el experimento fueron *Eisenia foetida* y *Eudrillus sp.*

5.3.1.2. Alimentación de las lombrices

El manejo de las lombrices se realizó alimentando con estiércol bovino fresco a las lombrices una o dos veces por semana según la velocidad de ingesta de las lombrices. Se regaron los canteros de lunes a sábado durante la mañana para garantizar la humedad necesaria para el desarrollo de las lombrices.

En este proceso se miden las siguientes variables:

- 1) Usando cintas colorimétricas se midió el pH de los canteros a las 7:00am, 12:00pm y 4:30pm.
- 2) Usando un hidrómetro se midió el porcentaje de humedad de los canteros a las 7:00am, 12:00pm y 4:30pm.
- 3) Usando un termómetro se midió la temperatura en grados centígrados de los canteros a las 7:00am, 12:00pm y 4:30pm.

La alimentación de las lombrices se realizó durante tres meses, al finalizar este periodo se prosiguió a realizar el proceso de cosecha

5.3.1.3. Cosecha

Se midió los kilogramos de lombrices y los metros cúbicos de lombriabono producidos en cada cantero. Los metros cúbicos de abono se midieron en sacos de 0,07m³.

5.3.2. Bokashi

Para el establecimiento de este experimento se implementó la metodología descrita a continuación.

5.3.2.1. Selección y preparación de los materiales

En esta etapa se carbonizo la cascarilla de arroz utilizada durante el proceso de elaboración de bokashi.

Se midieron 0.12m³ de cascarilla de arroz carbonizada, gallinaza, tierra y material compostado, 4.54kg de semolina, 86g de almidón y 480g de dulce.

5.3.2.2. Mezcla de materiales

Durante esta etapa, se mezclaron homogéneamente todos los materiales necesarios para la elaboración del bokashi y se les agrego agua hasta obtener una humedad del 50% para cada lote de producción.

5.3.2.3. Fermentación del abono y control de temperatura

En esta etapa se realizaron volteos de los lotes de bokashi a las 9:00am y 3:00pm para regular la temperatura, pH y humedad de los lotes.

Se midieron el pH, humedad y temperatura antes y después de voltear el bokashi en los diferentes los lotes.

Se utilizaron cintas colorimétricas para medir el pH, un hidrómetro para medir el porcentaje de humedad y un termómetro para medir la temperatura en grados centígrados.

5.3.2.4. Empacado del bokashi

Durante esta etapa se midieron los metros cúbicos de bokashi en sacos de 0.06m³.

5.4. Análisis estadístico

Se utilizaron herramientas estadísticas básicas e intermedias. Se aplicaron métodos gráficos y estadísticos descriptivos para la descripción de las variables.

Se determinó si existían diferencias estadísticas significativas en las medias de las variables evaluadas en la producción de los abonos orgánicos dentro de los experimentos diseñados: Lombriabono y Bokashi. El análisis estadístico se hizo utilizando el programa SPSS 19.

La determinación de puntos críticos de temperatura, humedad y pH en los experimentos de lombriabono y bokashi se hizo mediante el uso de graficas de control generadas con el programa SPSS 19. Dichas graficas muestran los límites inferiores y superiores para cada condición utilizando el promedio y desviación típica de todos los datos obtenidos durante el proceso de producción para dicha condición. Posteriormente, se determinaron si los promedios diarios de cada condición están dentro de los límites.

Los puntos críticos de temperatura, humedad y pH se determinaron con los datos obtenidos en la etapa de alimentación de las lombrices en el experimento con lombriabono, mientras que, en el experimento con bokashi se determinaron con los datos obtenidos en la etapa de fermentación del abono y control de temperatura.

Definición de variables y medidas

Tabla 1: Condiciones ambientales evaluadas dentro de la galera de producción

Variables	Unidades	Horas de Medición		
		7am	12pm	4:30pm
Temperatura	°C	X	X	X
Humedad	Porcentaje	X	X	X

Tabla 2: Variables evaluadas en el Experimento Lombriabono

Variables	Unidades	Horas de medida		
		7am	12pm	4:30pm
Potencial de hidrógeno	pH	X	X	X
Temperatura		X	X	X
Humedad	Porcentaje	X	X	X

Tabla 3: Variables evaluadas en el experimento Bokashi

Variables	Unidades	Horas de Medición	
		9am	3pm
Potencial de hidrógeno	pH	X	X
Temperatura	°C	X	X
Humedad	Porcentaje	X	X

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En esta sección se presenta los hallazgos relevantes de esta investigación. Se describen con métodos gráficos las variables abióticas como: temperatura, humedad y pH del lombriabono y bokashi, así como la temperatura y humedad del ambiente.

Se realiza el análisis de varianza de un diseño de tres bloques y dos tratamientos, se hacen pruebas post hoc de comparaciones de medias, para determinar si hay diferencias estadísticas significativas entre bloques, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ para todos los análisis estadísticos.

6.1. Relación entre temperatura y humedad relativa dentro de la galera de producción de abonos orgánicos.

El monitoreo de las condiciones abióticas es de importancia para determinar el efecto que estas condiciones tienen sobre el comportamiento de la temperatura, humedad y pH de los abonos orgánicos durante su proceso de elaboración.

En la figura 2 se presenta la relación que existe entre la temperatura y la humedad relativa dentro de la galera de producción de abonos orgánicos. La humedad se presenta inversamente proporcional a la temperatura debido a que al aumentar la temperatura disminuye la humedad en la galera tanto en los puntos de muestro como en las horas de muestreo. Los valores de humedad relativa oscilaron entre 25% y 87% los registros más altos son del mes de diciembre y los más bajos del mes de marzo. La temperatura osciló entre 22°C y 36°C, los registros más bajos son del mes de diciembre y los más altos son del mes de marzo.

Según Rodríguez y Capa (2004), la humedad relativa es la cantidad de agua que contiene una masa de aire con relación a la cantidad máxima de agua que esta masa de aire puede tener. Al aumentar la temperatura la cantidad de agua que una masa de aire puede contener aumenta, disminuyendo así la humedad relativa.

El ANOVA realizado a las condiciones abióticas muestra que no existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo a un nivel de significancia de 0.05. Sin embargo, existe diferencia significativa entre las horas de muestreo (Anexo Tabla 6). La prueba de Tukey muestra que para la variable temperatura existen tres grupos: 7:00am con 26.97°C, 12:00pm con 32.07°C y 4:30pm con 30.95°C. Para la variable humedad se formaron tres grupos: 7:00am con 58.13%, 12:00pm con 40.18% y 4:30pm con 42.89% (Anexo Tabla 7). Los resultados obtenidos demuestran que la orientación de la galera de producción de abonos orgánicos permite una ventilación homogénea la cual regula la temperatura y humedad relativa dentro de la galera.

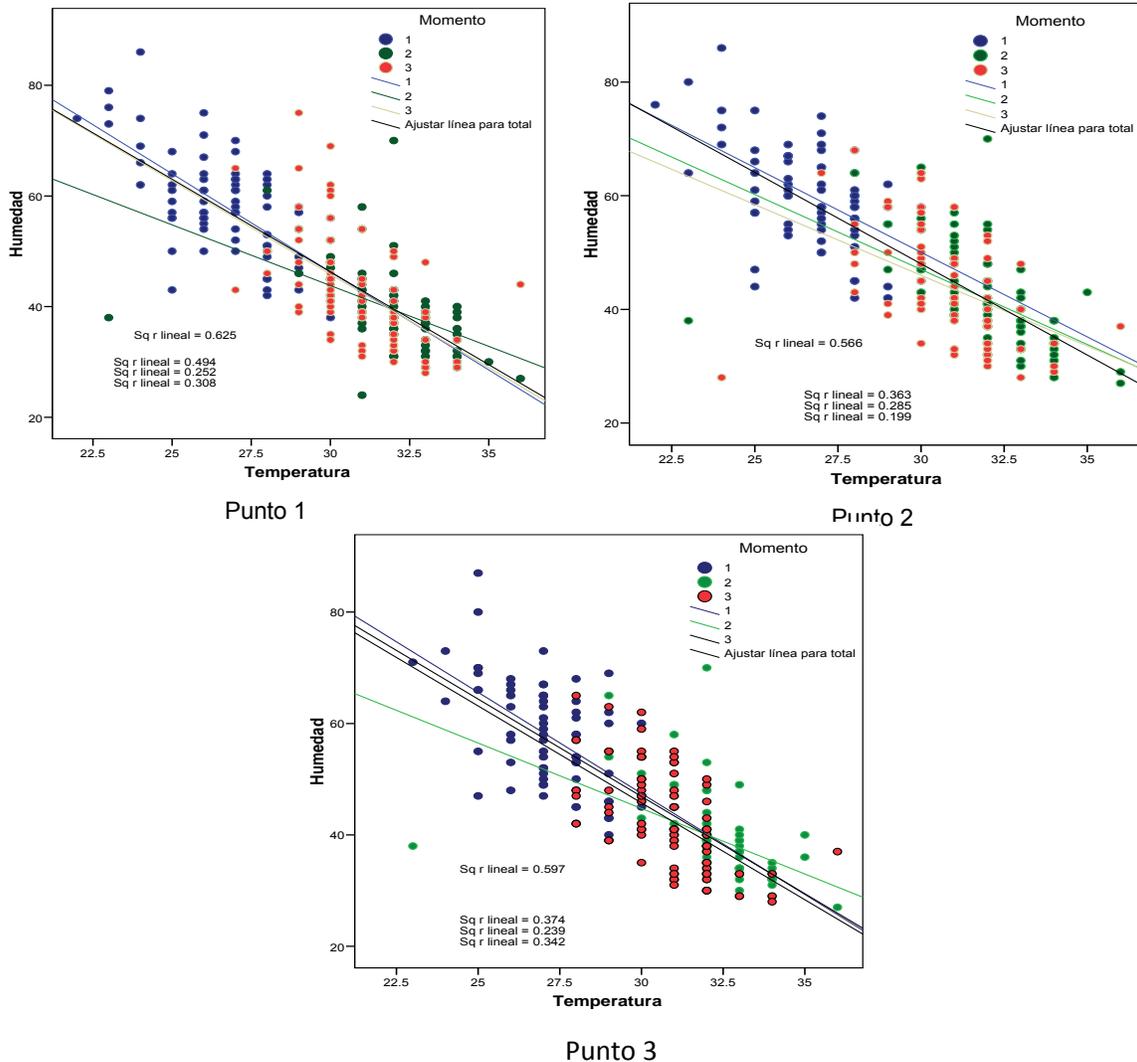


Figura 2: Relación entre temperatura y humedad relativa dentro de la galera de producción de abonos orgánicos

6.2. Descripción de las variables temperatura, porcentaje de humedad y pH dentro de los canteros de producción de lombrabono.

La temperatura es una variable importante para garantizar la sobrevivencia de las lombrices. Mediante el control de esta variable, se evitó que se alcanzaran valores extremos donde se produce una disminución en el metabolismo de las lombrices que conlleva a su muerte y posterior disminución en la producción de lombrabono (Martínez, 1996).

En la figura 3 se describe la temperatura registrada en los canteros de producción de lombriabono. La temperatura se comporta de manera decreciente de la semana 1 hasta la semana 8 con una diferencia de 12°C. Se observa un comportamiento similar de la semana 11 a la semana 14 con una diferencia de 6°C. Este comportamiento descendiente es similar al reportado por Santamaría y Ferrera (2002), donde la temperatura inicia en 18°C y gradualmente desciende hasta temperaturas inferiores a 12°C. El descenso de la temperatura se puede explicar por el aumento en el volumen de lombriabono dentro de los canteros a través del tiempo. Cuando se incrementa el volumen de lombriabono los gases producidos por el metabolismo de las lombrices se liberan, evitando que se acumulen y aumenten la temperatura. El incremento de la temperatura a partir de la semana 11 se debe a un incremento en la temperatura dentro de la galera de producción de abonos orgánicos, influenciada por el incremento de la temperatura ambiental.

El ANOVA realizado a la variable temperatura a un nivel de 0.05 de significancia, muestra que no existe diferencia significativa en los valores promedios entre los espesores de 1cm y 2cm para la capa de alimento. Sin embargo, existe diferencia significativa en el valor medio de la temperatura entre las horas de muestreo (Anexo Tabla 8). La prueba de Tukey muestra que existen dos grupos, el primero formado por las horas de muestreo 7:00am y 4:30pm con valores promedio de 17.43°C y 17.64°C respectivamente. El segundo grupo está formado por las horas 12:00pm y 4:30pm con valores promedios de 18.45°C y 17.64°C respectivamente (Anexo Tabla 9).

Según Brechelt (2001) y SAGARPA (2002), la temperatura óptima dentro de los canteros de producción debe oscilar entre 15 y 25°C, mientras que Graham (2010) dice que las lombrices corren peligro con temperaturas por debajo de cero grados centígrados y por encima de 35°C. Los datos obtenidos en el experimento oscilan entre 10°C y 27°C, estos valores se encuentran fuera de los límites extremos de temperatura.

Los resultados obtenidos nos muestran que los espesores de la capa de alimento de 1cm y 2cm no afectan la temperatura dentro de los canteros de producción de lombriabono. La temperatura dentro de los canteros se regula mediante riego con agua y ventilación.

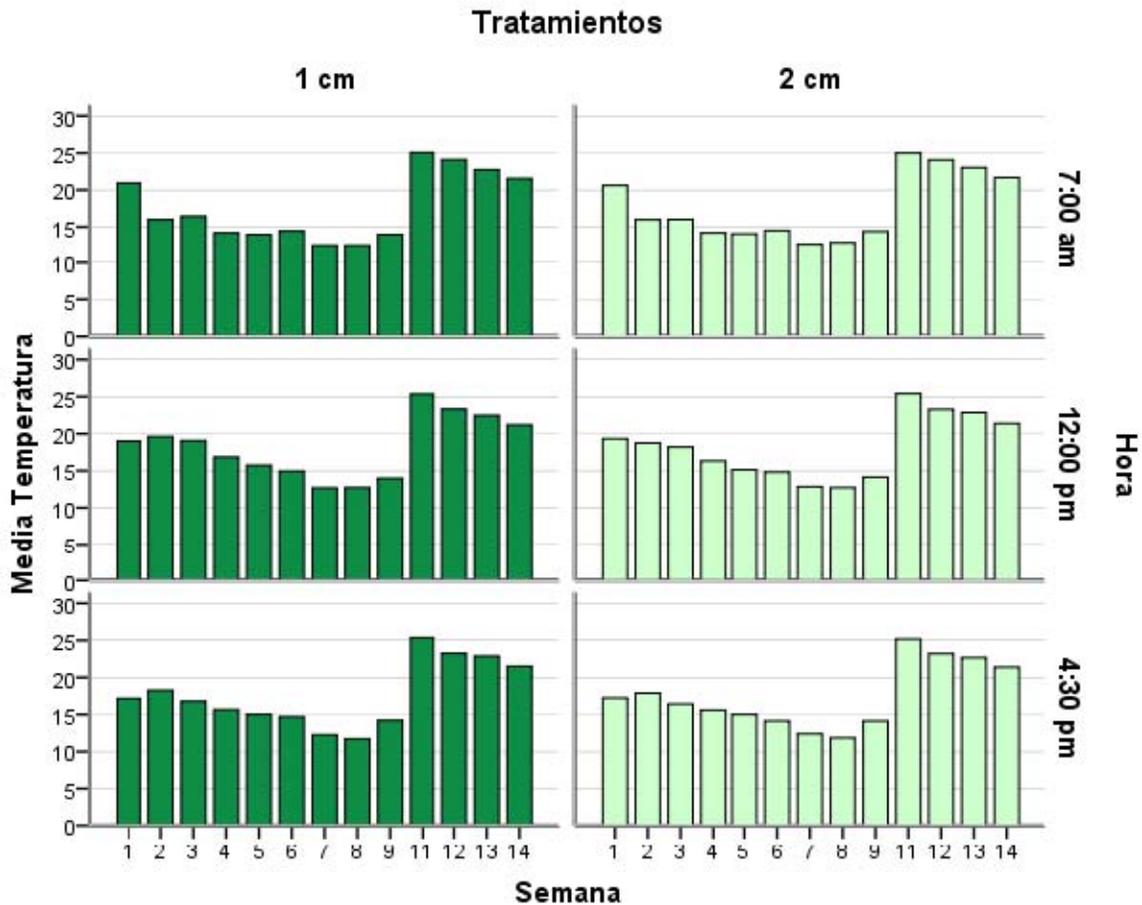


Figura 3: Comportamiento de la temperatura en grados centígrados en canteros de producción de lombriabono con espesores de 1cm y 2cm de capa de alimento.

El porcentaje de humedad dentro de los canteros de producción del lombriabono es una variable que determina la sobrevivencia de las lombrices y la calidad del abono mismo. El control de la humedad dentro de los canteros impide la deshidratación de las lombrices y la saturación de agua dentro de los canteros, evitando con esto la muerte o migración de las lombrices (Martínez, 1996).

En la figura 4 se muestra el comportamiento de la humedad registrada en los canteros de producción de lombriabono. Durante el ciclo de producción, la humedad incrementó con el paso del tiempo debido al incremento de volumen de lombriabono. En las primeras cinco semanas la humedad varió de 70% a 85%. De la sexta semana a la novena semana la humedad varía entre 85% a valores superiores al 90%. A partir de la semana 10 los valores de humedad se mantuvieron por encima de 90%.

Con el incremento del volumen de lombriabono en los canteros, aumenta el volumen de agua a utilizar. Por otra parte, la acción del viento solo afecta la superficie de los canteros, debido a esto al incrementar el volumen de lombriabono el efecto del viento sobre la humedad dentro del cantero disminuye. Los valores mayores registrados de humedad que refleja el gráfico son ocasionados por el alimento proporcionado a las lombrices a lo largo del experimento. La diferencia de humedad entre los espesores de las capas de alimento (1 y 2 cm) se debe a que la capa de 2cm posee mayor cantidad de agua.

El ANOVA realizado en la variable porcentaje de humedad a un nivel de 0.05 de significancia, muestra que existe diferencia significativa en el valor medio de la humedad entre los espesores de 1cm y 2cm de capa de alimento. Sin embargo, no existe diferencia significativa en el valor medio de humedad entre las horas de muestreo (Anexo Tabla 8).

Sagarpa (2002) y Brechelt (2001) reportan que el porcentaje de humedad varía entre 75 y 80%. En esta investigación se reportan inicialmente humedades de 70%. Esto se debe que al momento del establecimiento de la investigación, el ambiente primario poseía una altura de 5cm. En esta etapa inicial, los canteros de producción se encontraron afectados por la acción del viento que produce pérdida de humedad en los abonos. Los porcentajes de humedad de 100% registrado se deben a que los electrodos del medidor de humedad, al momento de alimentar a las lombrices hacen lectura en una capa de estiércol saturado en agua que ejerce

poca tensión sobre los electrodos del medidor de humedad. Al disminuir la tensión dentro del lombriabono, se obtiene una lectura mayor del porcentaje de humedad. Martin (2010) reporta que la humedad y la tensión son inversamente proporcionales, por lo tanto la poca tensión ejercida por el estiércol saturado en los electrodos, provocan los porcentajes de humedad por encima de 100%, indicando que al alimentar a las lombrices se provoca una saturación de agua en los canteros.

Los resultados obtenidos nos muestran que el porcentaje de humedad dentro de los canteros se puede regular con riego y aireación. Al momento de alimentar a las lombrices se debe de regar con una cantidad de agua menor que en un día sin alimento para evitar la saturación de agua dentro de los canteros.

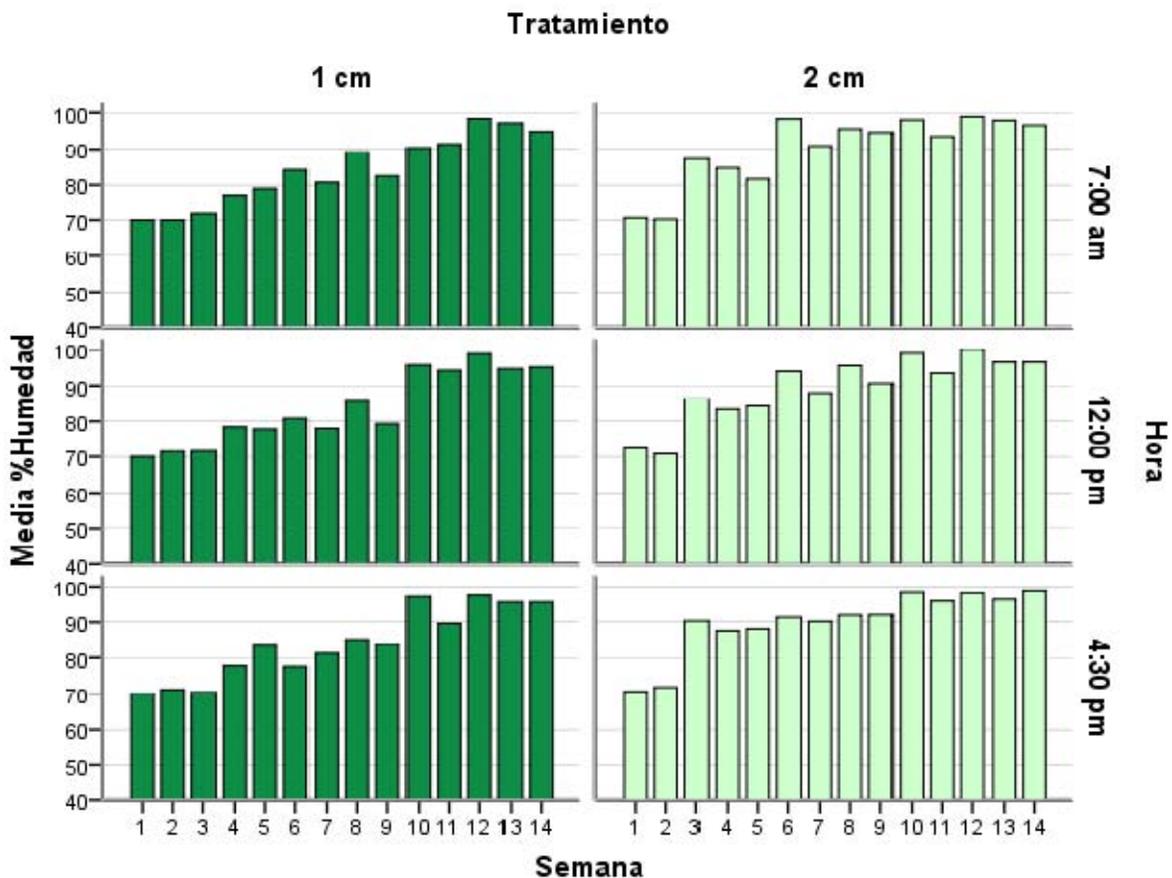


Figura 4: Comportamiento de la humedad dentro de los canteros de producción de lombriabono con espesores de 1cm y 2cm de capa de alimento.

El pH es una variable importante para garantizar la sobrevivencia de las lombrices. Esta variable sin el debido control produce tasas de mortalidad altas y provocan daño o lesiones del material biológico.

En la figura 5 se describe el comportamiento del pH dentro de los canteros de producción de lombriabono. Se observa que durante el proceso de producción de lombriabono, los valores de pH se mantuvieron constantes con un valor de 7, con excepción de las semanas dos y seis en donde hubo una disminución en el pH alcanzando valores de 6. Sin embargo, esta disminución no representó ningún riesgo para las lombrices (Días 2002). El comportamiento homogéneo del pH indica que mediante el riego, aireación y alimentación se logra satisfacer las condiciones de pH necesarias para el desarrollo de las lombrices.

El ANOVA realizado a la variable pH a un nivel de 0.05 de significancia, muestra que no existe diferencia significativa en el valor medio del pH entre los espesores de 1cm y 2cm de capa de alimento. Sin embargo, existe diferencia significativa en el valor medio del pH entre las horas de muestreo (Anexo Tabla 8). La prueba de Tukey muestra que las horas 7:00am y 12:00pm forman el primer grupo con pH promedio de 6.92 y 6.98 respectivamente, mientras que 12:00pm y 4:30pm forman el segundo grupo con valores promedios de 6.98 y 6.99 respectivamente (Anexo Tabla 9). Lo que significa que la diferencia estadística esta entre el pH de las 7:00am y 4:30pm.

Díaz (2002) reporta valores de pH que oscilan entre 6 y 8.5, estos valores coinciden con el valor promedio de pH obtenidos en este experimento. El cambio de pH dentro de los canteros de producción se encuentra ligado a los cambios de temperatura y de humedad dentro del cantero (Martínez, 1996). La regulación de la temperatura y la humedad por medio de la aeración y riego de los canteros permiten mantener el pH en valores no perjudiciales para las lombrices. El uso de estiércol bovino fresco con un pH de 8 evita que el pH descienda a 6, donde se produce mortalidad en las poblaciones de lombrices (Sagarpa, 2002).

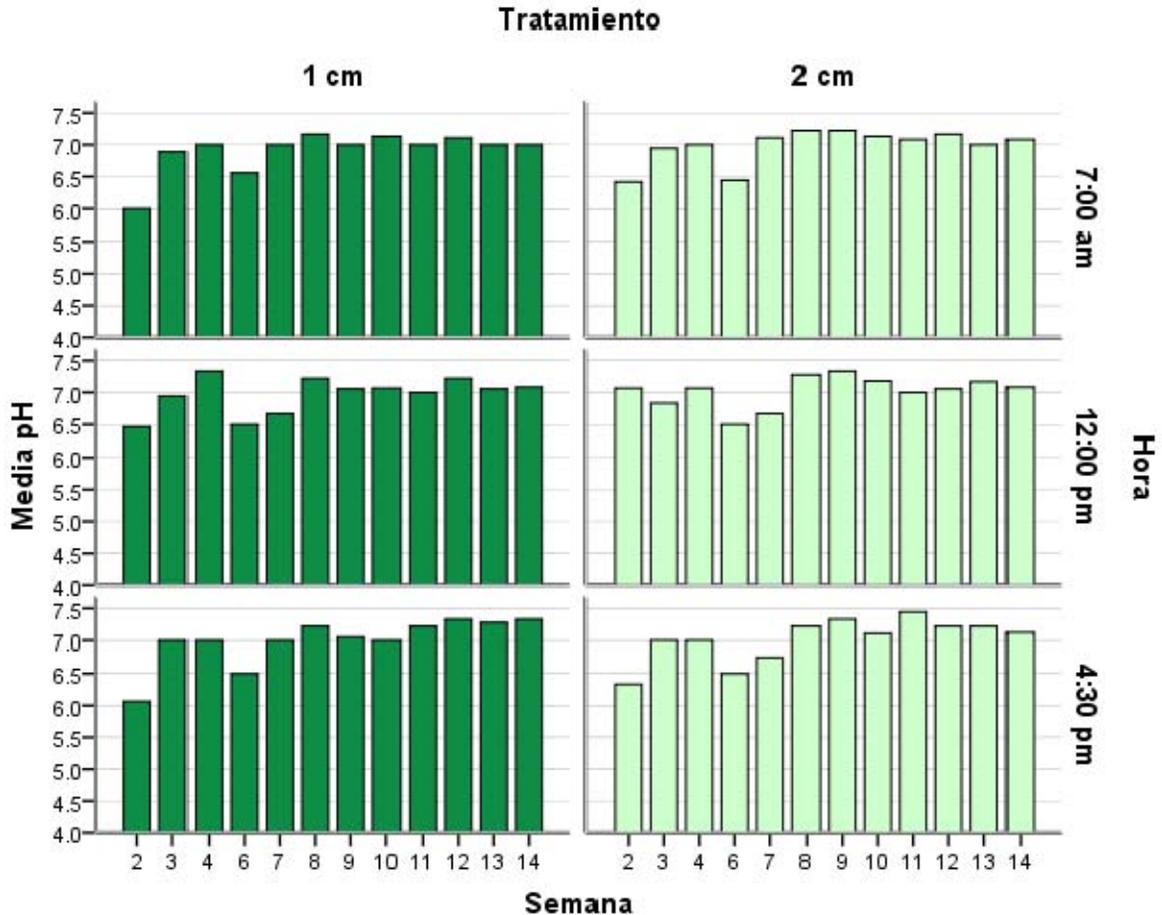


Figura 5: Comportamiento del pH dentro de los canteros de producción de lombrabono con espesores de 1cm y 2cm de capa de alimento.

6.3. Determinación de las variables temperatura, humedad y pH en los lotes de producción de bokashi

La temperatura juega un papel importante en la elaboración del bokashi debido que permite eliminar microorganismos fitopatógenos presentes en los materiales utilizados en el proceso de elaboración del bokashi.

En la figura 6 se muestra la temperatura promedio registrada en los lotes de producción de bokashi en dos momentos, antes de volteo y después de volteo. Durante el ciclo de producción se observa que la temperatura en los lotes de producción disminuye con el paso de los días debido a la disminución de la actividad microbiana, como consecuencia del consumo de los carbohidratos en el

bokashi y a la gradual disminución de la humedad dentro de los lotes de producción. Se registró una variación de temperatura promedio de 15°C.

Para las horas de muestreo, los valores de temperatura de las 3:00pm son mayores que a las 9:00am. Esto coincide con el aumento de temperatura ambiental durante la tarde de hasta 5°C, con respecto a la temperatura por la mañana.

La temperatura del bokashi antes del volteo alcanza valores de 60°C debido a la actividad microbiana. Sin embargo, después de volteo entra aire en los lotes de producción, esto permite que las temperaturas bajen y que se homogenicen con valores entre 40°C a 45°C.

En los primeros cinco días del proceso de producción de bokashi la diferencia promedio de temperatura antes y después de volteo es de 8°C. En los últimos tres días la variación promedio de temperatura fue de 4°C.

El ANOVA realizado a la variable temperatura a un nivel de 0.05 de significancia, demuestra que no existe diferencia significativa en los valores promedios entre el bokashi elaborado con tierra y el elaborado con material compostado con promedios de 43.12°C y 44.23°C respectivamente. Sin embargo, existe diferencia significativa en el valor medio de la temperatura entre las horas de muestreo, así como, antes y después de volteo con promedios de 47.35°C y 40.00°C respectivamente (Anexo Tabla 10).

Según Restrepo (2007), la temperatura del bokashi alcanza valores superiores a los 65°C. En esta investigación la temperatura máxima registrada fue de 60°C, lo que permite eliminar organismos patógenos en el abono.

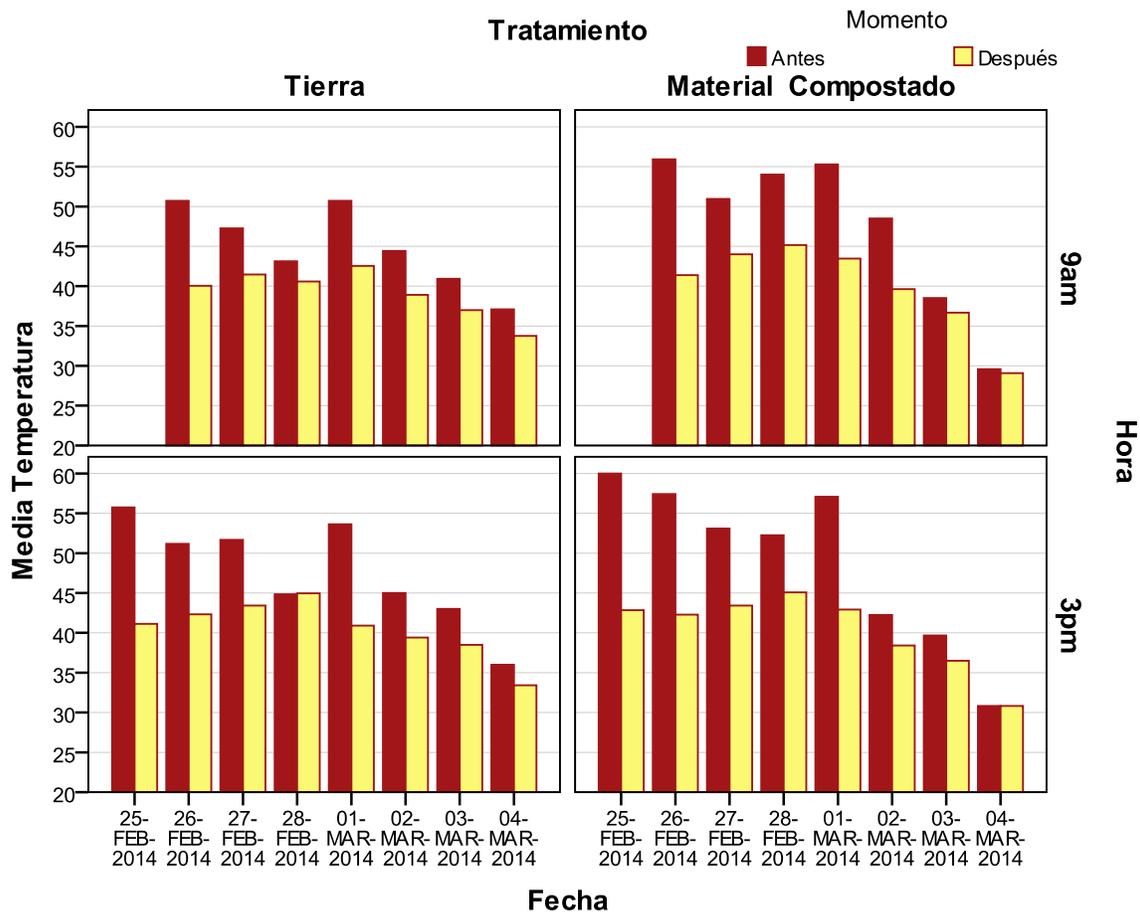


Figura 6: Descripción de la temperatura en grados centígrados en lotes de producción de bokashi elaborado con tierra y material compostado en dos momentos, antes y después de volteo.

La humedad es una variable importante en el proceso de elaboración del bokashi porque permite la reproducción de microorganismos descomponedores involucrados en la elaboración del bokashi durante las etapas iniciales del abono. Sin embargo, la humedad debe ser controlada mediante volteo para evitar que la temperatura se incremente a niveles extremos, lo que causaría que el bokashi se convirtiera literalmente en cenizas.

En la figura 7 se describe la humedad registrada en los lotes de producción de bokashi en dos momentos antes y después de volteo. Los porcentajes de

humedad más altos se registraron el primer día de muestreo 65% debido a la acumulación de humedad por parte del abono al estar cubierto con plástico para evitar la volatilización de nitrógeno. Con el paso de los días la humedad disminuye desde 65% hasta 3% por efecto del volteo realizado a los lotes de producción.

El volteo de los lotes de bokashi permite homogenizar la humedad de los mismos, al permitir la entrada de aire a todo el lote, regulando el exceso de humedad en las partes más altas. Esto explica la diferencia de humedad antes y después de volteo de hasta 20%.

El ANOVA realizado a la variable porcentaje de humedad a un nivel de 0.05 de significancia, muestra que no existe diferencia significativa en los valores promedios entre el bokashi elaborado con tierra y el elaborado con material compostado, así como en las horas de muestreo con promedios de 17.17% y 15.42% respectivamente. Sin embargo, existe diferencia significativa en el valor medio del porcentaje de humedad antes y después de volteo con promedios de humedad de 20% y 12.5% respectivamente. (Anexo Tabla 10).

Según Bejarano (2002), la humedad del bokashi debe oscilar entre el 40% y el 50%. El valor máximo de humedad registrado en el experimento fue de 65% en el tratamiento tierra y de 57.5% con material compostado. Durante la investigación, la humedad de 65% no afectó los lotes de producción porque se reguló con manejo mediante volteos. Si no se controla el porcentaje de humedad en los lotes de producción, se puede generar un aumento de temperatura que perjudicaría el proceso de producción del abono por la pérdida de nitrógeno mediante volatilización.

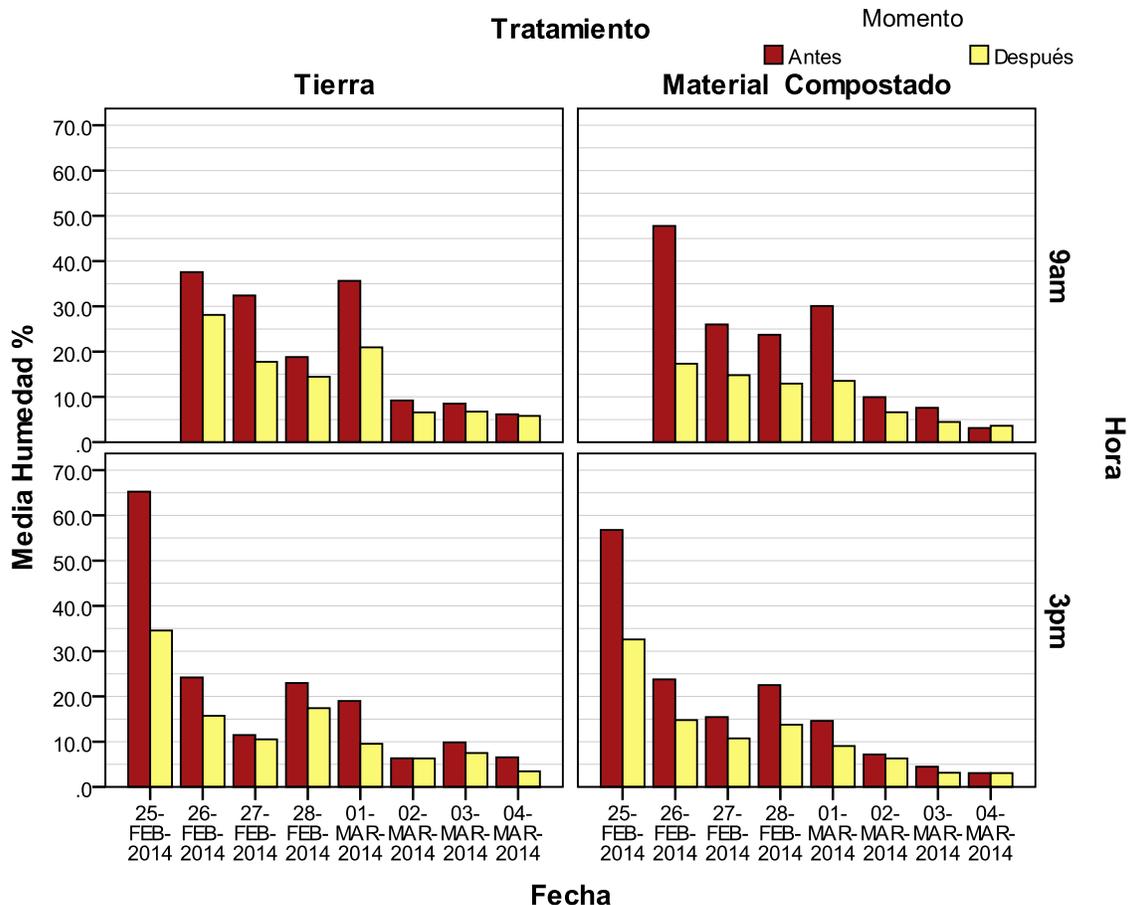


Figura 7: Descripción de la humedad en los lotes de producción de bokashi elaborado con tierra y material compostado en dos momentos, antes y después de volteo.

La regulación del pH es de suma importancia en el proceso de elaboración del bokashi para evitar que los actinomicetos y hongos involucrados en el proceso de fermentación del abono se vean afectados por valores extremos de acidez y alcalinidad, lo que produciría una inadecuada descomposición de los materiales y por ende, un abono sin calidad (Restrepo, 2007).

En la figura 8 se muestra el pH registrado en los lotes de producción de bokashi en dos momentos antes y después de volteo. Durante el ciclo de producción, el valor promedio del pH no presentó grandes variaciones manteniéndose entre 7.5 y 8, lo que significa que el proceso de elaboración del bokashi permite mantener controlados los valores del pH. El pH después del volteo es menor porque el

volteo permite la entrada de aire. El aire contiene CO₂ que al reaccionar con el agua contenida en el bokashi, disminuyen el pH debido a la formación de ácido carbónico (Masterton & Slowinski, 1986). El valor promedio del pH es mayor en el bokashi con material compostado debido a que el material compostado posee mayor contenido de sales que la tierra.

El ANOVA realizado a la variable pH a un nivel de 0.05 de significancia, muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos, así como para el momento antes y después de volteo con promedios entre 7.5 y 8. Sin embargo, no existe diferencia significativa entre las horas de muestreo con valores promedios de 7.74 y 7.73 respectivamente. (Anexo Tabla 10).

Piedrahita y Cabiedes (2012) reportan datos de pH en la producción de bokashi que oscilan entre 5.5 y 6.6. Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que en las condiciones en las que se realizó la investigación el pH oscila entre 7 y 8.2 con tierra, mientras que con material compostado el pH oscila entre 6 y 8.2.

Valores de pH menores de 5.5 y mayores a 9 afectan el proceso de producción del bokashi, debido a que pH fuera de este rango afectan la actividad de los microorganismos encargados de la fermentación del abono. pH muy ácido afecta a los hongos encargados de degradar el material lignificado (Restrepo, 2007).

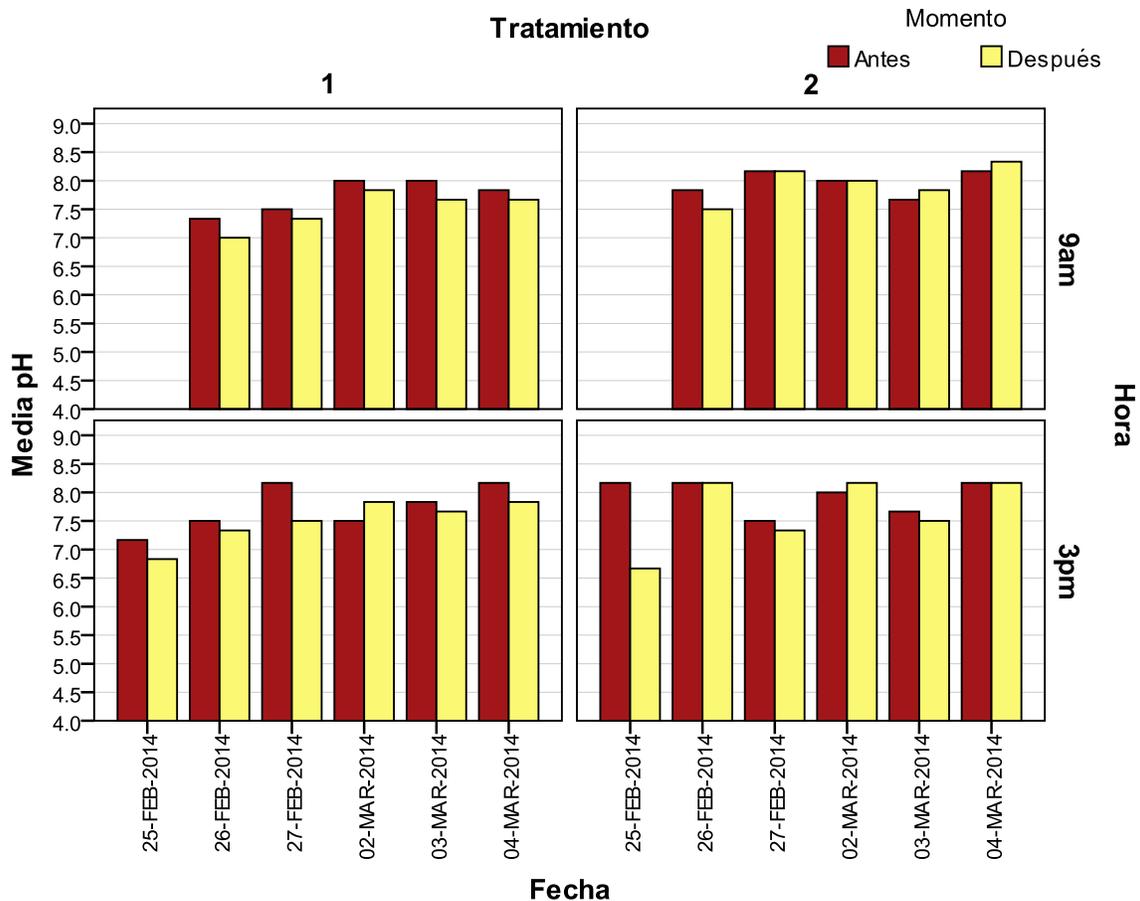


Figura 8: Descripción del pH en los lotes de producción de bokashi elaborado con tierra y material compostado en dos momentos, antes y después de volteo.

6.4. Determinación de puntos críticos

La determinación de puntos críticos en los procesos de elaboración de abonos orgánicos es imprescindible para garantizar el control de calidad de dichos procesos. A continuación se muestran las gráficas de control con la que se generaron los puntos críticos de temperatura, humedad y pH en los experimentos de lombriabono y bokashi.

6.4.1. Puntos críticos en el proceso de elaboración de lombriabono

En la figura 9 se muestran los puntos críticos de la variable temperatura en el proceso de elaboración de lombriabono, representados con los límites de control

inferior y superior. El límite de control inferior fue de 17.11°C, mientras que el superior fue de 17.74°C. Estos valores implican que para tener un proceso de producción de lombriabono controlado, los valores de temperatura deben oscilar entre 17.11°C y 17.74°C.

Los valores promedios diarios de temperatura se encuentran fuera de los puntos críticos, sin embargo la mayor parte de estos datos se encuentran dentro de los rangos que muestra la literatura. Debido a que la mayor parte de los valores son menores a los puntos críticos, se puede incrementar el volumen de alimento suministrado a las lombrices para aumentar la temperatura dentro de los canteros.

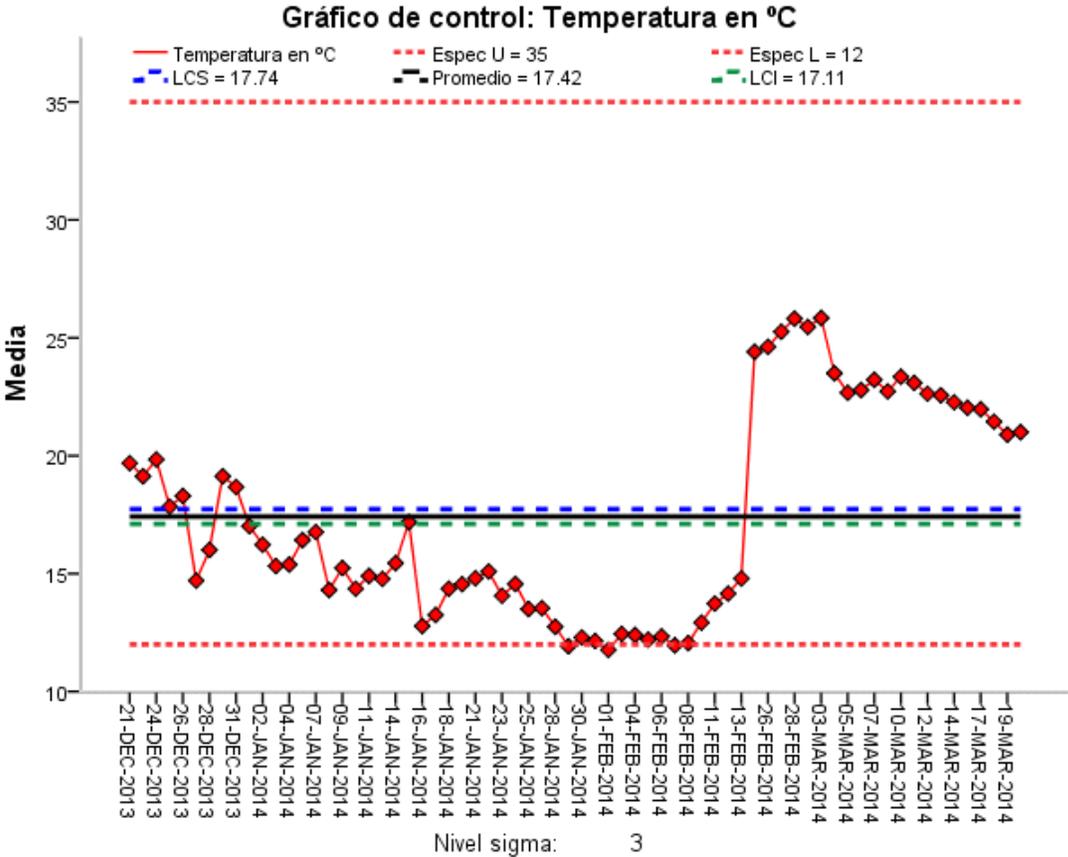


Figura 9: Puntos críticos de la variable temperatura en el proceso de elaboración de lombriabono durante la etapa de alimentación de las lombrices.

En la figura 10 se muestran los puntos críticos de la variable humedad en el proceso de elaboración de lombriabono, mediante desviación típica de los datos. Los límites de control inferior y superior son 84.16 y 91.02%. Se puede observar que para la variable humedad gran parte de los datos se encuentran fuera de los puntos críticos, e incluso el 30% de los datos se encuentran fuera de los rangos que muestra la literatura. Esto significa que en la etapa inicial se debe agregar una mayor cantidad de agua por medio de riego, mientras que en el último tercio del proceso de producción se deben tomar medidas para disminuir la humedad dentro de los canteros.

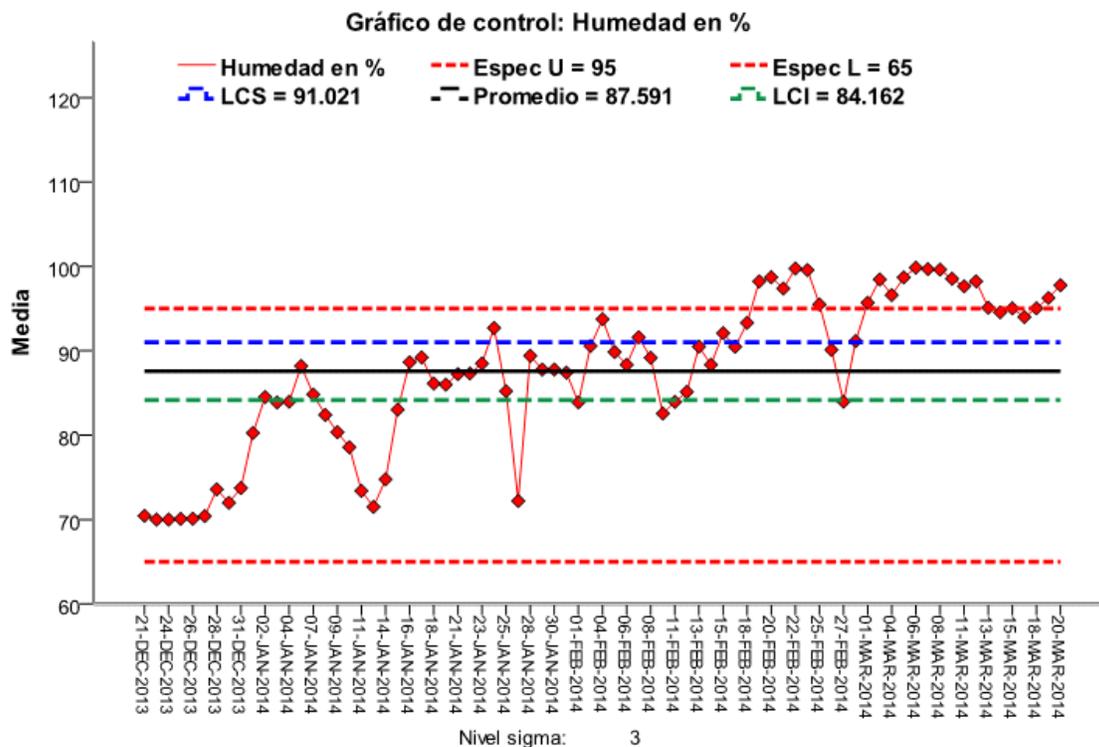


Figura 10: Puntos críticos de la variable humedad en el proceso de elaboración de lombriabono durante la etapa de alimentación de las lombrices.

En la figura 11 se muestran los puntos críticos de la variable pH en el proceso de elaboración del lombriabono, mediante desviación típica de los datos. Los límites de control inferior y superior son 6.78 y 7.14. Se puede observar que la mayoría de los datos se encuentran dentro de los puntos críticos y que no hay valores fuera de los rangos que muestra la literatura. Durante los primeros días se

presentan valores de pH menores al punto crítico inferior. Para aumentar el pH dentro de los canteros se puede utilizar cal, con el fin de mantener el pH dentro de los puntos críticos.

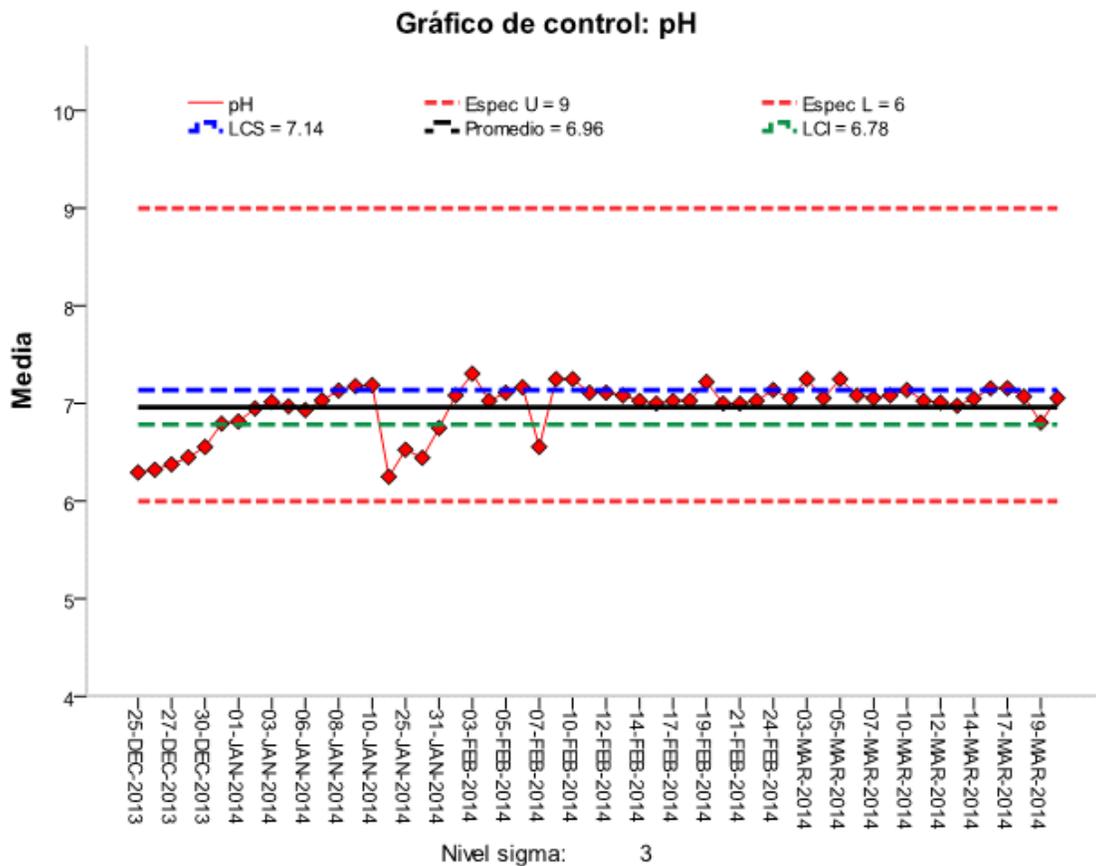


Figura 11: Puntos críticos de la variable pH en el proceso de elaboración de lombriabono durante la etapa de alimentación de las lombrices

6.4.2. Puntos críticos en el proceso de elaboración de bokashi

En la figura 12 se muestran los puntos críticos de la variable temperatura en el proceso de elaboración del bokashi. Los límites de control inferior y superior son 41.47 y 44.49°C. Se observa que la mayoría de los datos se encuentran fuera de los puntos de control. Sin embargo todos los valores de temperatura se encuentran dentro de los rangos establecidos en la literatura. Durante los primeros cuatro días se obtienen valores mayores al punto crítico, por lo tanto deben

hacerse más volteos a los lotes de producción de bokashi para reducir la temperatura. Los valores de los últimos dos días son inferiores a los de los puntos críticos, pero esta reducción de la temperatura es un proceso natural debido a la disminución de la humedad dentro de los lotes.

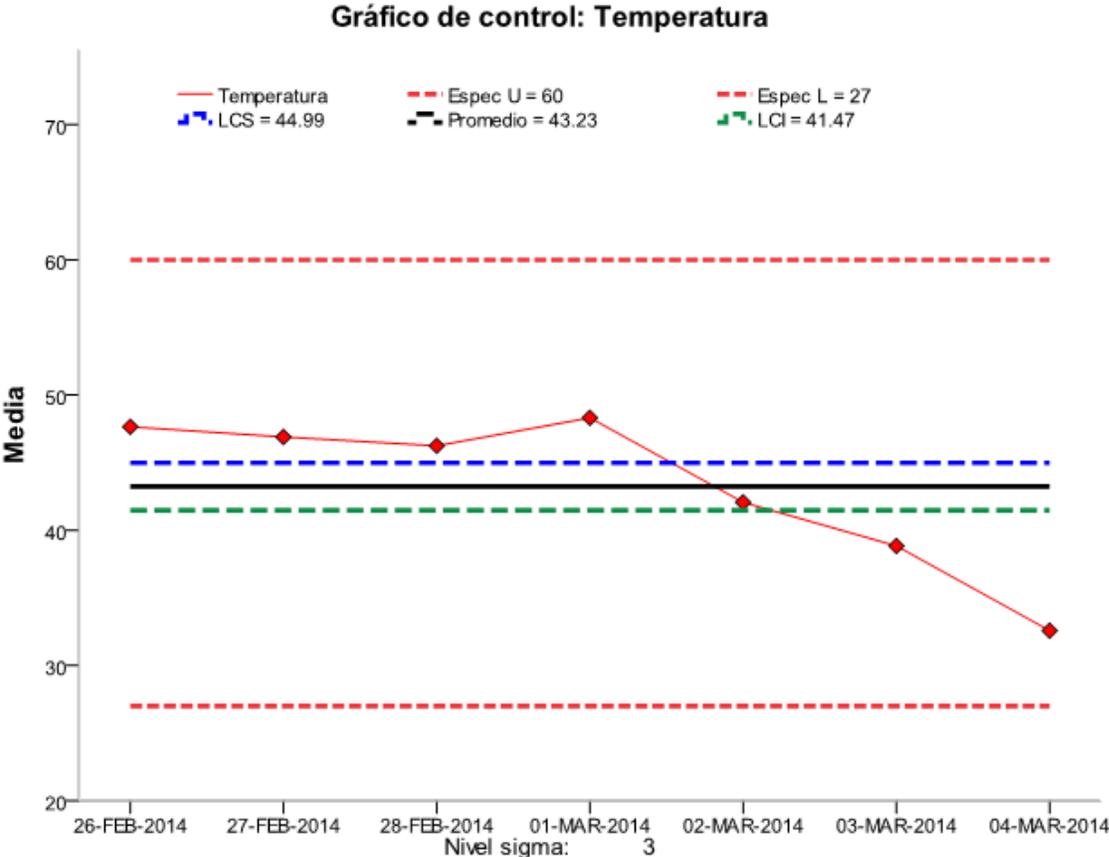


Figura 12: Puntos críticos de la variable temperatura en el proceso de elaboración de bokashi durante la etapa de fermentación del abono y control de la temperatura.

En la figura 13 se muestran los puntos críticos de la variable humedad en el proceso de elaboración del bokashi, mediante desviación típica de los datos. Los límites de control inferior y superior son 11.9 y 16%. Aunque la mayoría de los valores de humedad de los lotes de producción de bokashi están fuera de los puntos críticos, la mayoría de los datos se encuentran en los rangos de humedad que muestra la literatura. En la elaboración del bokashi la humedad debe descender para evitar un aumento en la temperatura, lo que se consigue al

mantener los valores de humedad dentro de los puntos críticos o por debajo de ellos mediante el volteo de los lotes de producción.

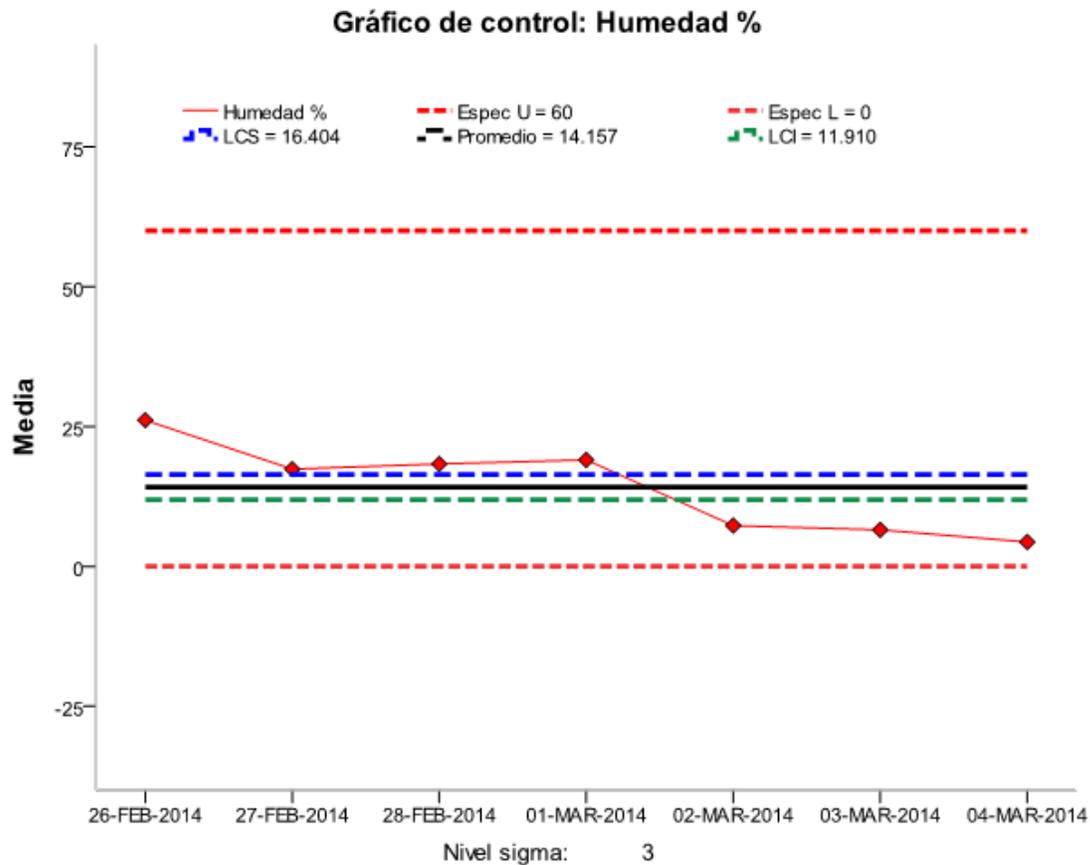


Figura 13: Puntos críticos de la variable humedad en el proceso de elaboración de bokashi durante la etapa de fermentación del abono y control de la temperatura.

En la figura 14 se muestran los puntos críticos de la variable pH en el proceso de elaboración del bokashi, mediante desviación típica de los datos. Los límites de control inferior y superior son 7.53 y 8.07. Se observa que durante el proceso de producción del bokashi los valores de pH se mantuvieron dentro de los puntos críticos, por lo tanto, el pH en la producción del bokashi es una condición controlada. El control del pH en el proceso de elaboración se logra mediante el volteo de los lotes de producción.

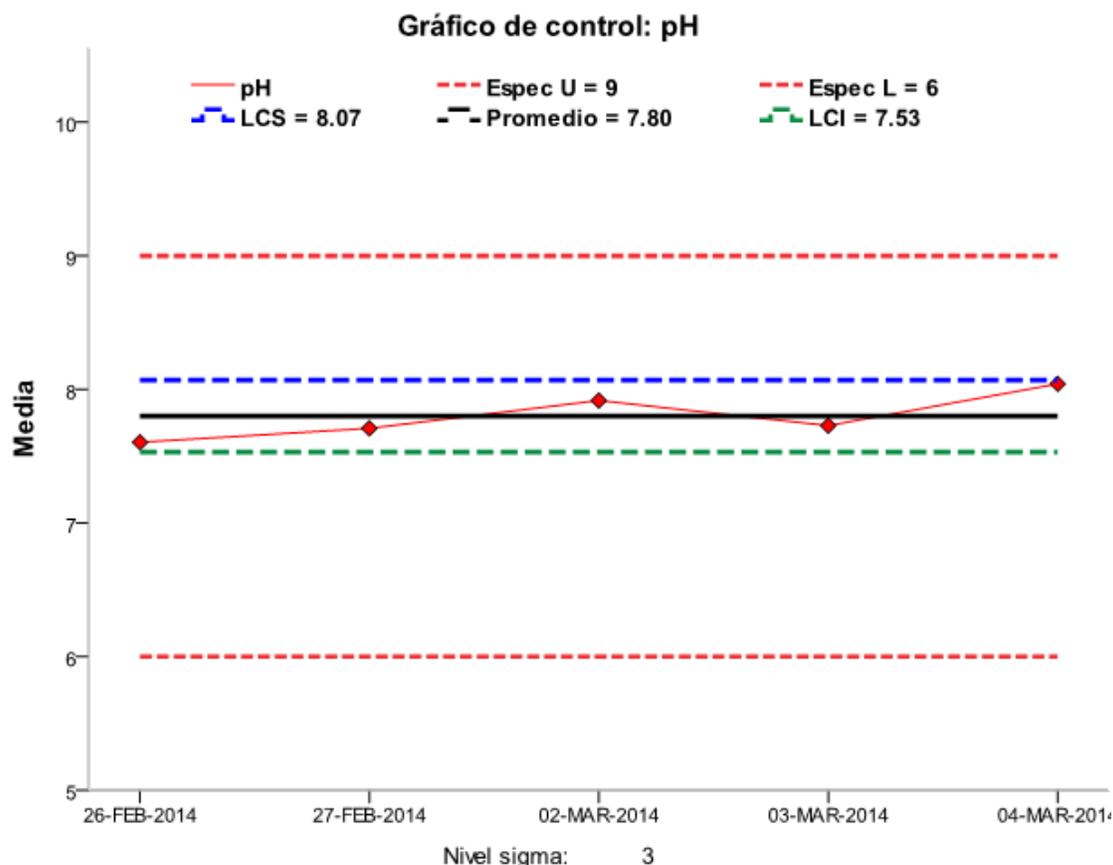


Figura 14: Puntos críticos de la variable pH en el proceso de elaboración de bokashi durante la etapa de fermentación del abono y control de la temperatura.

6.5. Producción de lombrices, lombriabono y bokashi.

Un parámetro importante para evaluar un proceso de producción de un abono orgánico es la cantidad de abono obtenido al finalizar dicho proceso. El proceso de producción de un abono orgánico debe optimizar los recursos para producir la mayor cantidad posible de abono.

En la tabla 4 se muestra la cantidad promedio de lombriabono, lombrices y bokashi producidos durante esta investigación. Se obtuvieron 0.27m³ de lombriabono para ambos tratamientos. Según Graham (2010), el peso de las lombrices debe duplicarse luego de tres meses. En esta investigación se consiguió multiplicar 3.5 veces el peso inicial de las lombrices. Estos datos muestran que no

existe diferencia en la cantidad final de lombrabono entre los tratamientos de 1cm y 2cm espesor de alimento.

En el experimento con lombrabono no hubo diferencia en la cantidad de producto final debido a que en el espesor de 2cm un mayor volumen de alimento representa una frecuencia de alimentación menor.

El incremento en la población de las lombrices puede provocar que las lombrices adultas abandonen los canteros para que los recursos sean aprovechados por las lombrices más jóvenes y estas ocupen el espacio vital dentro de los canteros. Se deben controlar las condiciones dentro de los canteros de producción de lombrabono para evitar la migración de las lombrices, lo que se traduce en pérdidas de producción final de lombrices y lombrabono

En el experimento con bokashi se obtuvieron 0.29m³ de bokashi elaborado con tierra y 0.28m³ de bokashi con material compostado. No se presentó diferencia en la producción de bokashi para estos tratamientos, debido a que se utilizó la misma cantidad de materia prima en ambos procesos.

Tabla 4: Producción en kilogramos de lombrices y metros cúbicos de lombrabono y bokashi en un ciclo de producción

		N	Media
Metros cúbicos de lombrabono	1cm	3	0.27217
	2cm	3	0.21
	Total	6	0.27108
Kilogramos de lombrabono	1cm	3	7.17
	2cm	3	7.67
	total	6	7.42
Metros cúbicos de Bokashi	Tierra	3	0.29
	Material compostado	3	0.284
	Total	6	0.287

6.6. Características químicas de lombriabono y bokashi

Las características químicas de los abonos orgánicos son parámetros que determinan la calidad de estos abonos. En la tabla 5 se muestran los resultados del análisis químico realizado al lombriabono y bokashi en los parámetros conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. El valor más alto de conductividad eléctrica es para el tratamiento de 1cm de espesor de la capa de alimento con un valor de 945. El porcentaje de materia orgánica, nitrógeno total, P_2O_5 , K_2O , y CaO fueron mayores en la capa de alimento de 2cm con valores de 26.3, 0.59, 1.7, 3 y 10.1 respectivamente. El porcentaje de MgO fue de 0.6 en ambas capas de alimento.

El lombriabono elaborado con una capa de alimento con 2cm de espesor posee un mayor contenido nutricional debido a que el alimento utilizado en este tratamiento era menos diluido para evitar altos porcentajes de humedad dentro de los canteros.

En el experimento con bokashi la conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica, nitrógeno total, CaO y MgO fueron mayores en el bokashi elaborado con material compostado con valores de 1170.5, 34.3, 0.42, 4.6 y 0.7 respectivamente. El porcentaje de P_2O_5 fue de 2.1 en bokashi elaborado con tierra y material compostado, mientras que el porcentaje de K_2O fue mayor en el bokashi elaborado con tierra con un valor de 2.7.

El bokashi elaborado con material compostado posee un mayor contenido nutricional en seis de los parámetros evaluados debido a que el material compostado posee un mayor contenido nutricional que la tierra, como resultado de la diversificada materia prima utilizada en el proceso de compostaje al que se somete el material compostado.

Tabla 5: Análisis químico de los parámetros conductividad eléctrica y porcentaje de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en los abonos orgánicos lombriabono y bokashi.

Técnica	Parámetros	Lombriabono		Bokashi	
		1cm	2cm	Tierra	Compost
Conductometría	CE	945	867	779	1170.5
Volumetría	%M.O	25.4	26.3	24.4	34.3
Volumetría	%NT	0.39	0.59	0.39	0.42
Espectofotometría	%P ₂ O ₅	1.2	1.7	2.1	2.1
Espectofotometría	%K ₂ O	2.4	3	2.7	2.1
Espectofotometría	%CaO	6.2	10.1	3.6	4.6
Espectofotometría	%MgO	0.6	0.6	0.5	0.7

VII. CONCLUSIÓN

- La orientación de la galera de producción de abonos orgánicos del Campus Agropecuario de la UNAN-León permite una adecuada ventilación que garantiza temperatura y humedad relativa homogéneas en los diferentes puntos dentro de la galera.
- En el proceso de elaboración de lombriabono el espesor de la capa de alimento solo tiene influencia significativa sobre la humedad de los canteros de producción.
- En el proceso de producción de bokashi el material de elaboración solo tiene efecto significativo sobre el pH.
- Los puntos críticos dentro de los canteros de producción de lombriabono son: 17.11 y 17.74°C para temperatura, 84.16 y 91.02% para humedad, 6.78 y 7.14 en pH.
- En el proceso de producción de lombriabono las 12:00 pm representa la hora crítica en el control de temperatura con rangos entre los 12 y 27°C.
- Los puntos críticos de las condiciones abióticas en el proceso de elaboración de bokashi son: 41.47 y 44.49°C para temperatura, 11.9 y 16.4% para humedad y 7.53 y 8.07 para pH.
- En las condiciones actuales, los procesos de producción de lombriabono y bokashi permiten un mínimo control de temperatura, humedad y pH, garantizando mantener estas condiciones dentro de los rangos reportados en la literatura. Sin embargo, no se mantiene la temperatura, humedad y pH en los puntos críticos.
- El volteo de los lotes de producción es eficiente en la regulación de temperatura, humedad y pH en el proceso de producción de bokashi.

- No existe diferencia significativa en la producción de lombrifertilizante y lombrices utilizando capas de alimento de 1cm o 2cm de altura.
- No existe diferencia significativa en el volumen de bokashi producido utilizando tierra o material compostado.
- El lombrifertilizante elaborado con una capa de alimento de 2cm tiene 16% más contenido nutricional que el lombrifertilizante elaborado con 1cm de espesor de la capa de alimento.
- El bokashi elaborado con material compostado tiene 25% más de contenido nutricional que el bokashi elaborado con tierra.

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Utilizar un aparato para medir la ventilación dentro de la galera de producción de abonos orgánicos.
- Validar los espesores de 1cm y 2cm en la capa de alimento utilizando canteros de producción de 10m² y fuentes alternas de alimento.
- Realizar riegos más frecuentes con menos cantidad de agua en las primeras semanas de la etapa de alimentación de las lombrices para aumentar la humedad dentro de los canteros de producción de lombriabono. Sin embargo, se debe aumentar la aireación en el último tercio de la etapa de alimentación de las lombrices para disminuir la humedad dentro de los canteros.
- Usar material compostado en el proceso de elaboración del bokashi porque con este se obtienen mayores contenidos nutricionales que con la tierra.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Mexicano de Normalización y Certificación. (2008). Gestión Ambiental- Análisis de Ciclo de Vida- Principios y Marcos de Referencia (Primera ed.). México.
- Alarcón, R. (2010). Aprovechamiento de los Residuos Orgánicos para la Producción de Humus utilizando la Lombriz Roja Californiana. Santander: Universidad de Santander .
- Aridio, P., & al, e. (2008). Caracterización Físico-Química y Biológica de Enmiendas Orgánicas Aplicadas en la Producción de Cultivos en República Dominicana. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal.
- Bejarano, C. (2002). Abonos Orgánicos, Fermentados Tipo Bocashi Caldos Minerales Y Biofertilizantes. Cali: Corporación autónoma regional del Valle del Cauca –CVC– .
- Biblioteca Universidad de Alcalá. (s.f.). Fuentes de Información. Recuperado el 5 de Septiembre de 2014, de <http://www2.uha.es/bibliotecaformacio...>
- Brechelt, A. (2001). Manual Práctico para la Lombricultura. Santo Domingo: Fundación Agricultura y Medio Ambiente.
- Daniel, W. (1993). Bioestadística base para el análisis de las ciencias de la salud. México D.F: Limusa.
- Deming, W. (1989). Calidad, productividad y competitividad : La salida de la crisis. Días de Santos.
- Díaz, E. (2002). Lombricultura Una Alternativa para la Producción. La Rioja: Agencia del Desarrollo Económico y Comercio Exterior.
- Graham, H. (2010). Manual de Lombricultura. Chiapa: Fundación Produce Chiapas.
- International Organization for Standardization 9000. (2000). Sistema de gestión de calidad-Conceptos y vocabulario. Ginebra: ISO.
- International Organization of Standardization 14040. (1997). Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework . Ginebra: ISO.
- MAONIC. (2011). Fomento a la Producción Agroecológica y orgánica de Nicaragua. Managua.

Martin, E. (2010). Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego . Arizona: The University of Arizona-Arizona cooperative extension.

Masterton, W., & Slowinski, E. (1986). Química General Superior. México D.F: Nueva Editorial Interamericana.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2011). Elaboración y uso del bokashy. San Salvador: Ministerio de Agricultura y Ganadería, FAO.

Ministerio de Fomento, Industria y Comercio. (2014). Sistema Nacional de la Calidad. Recuperado el 7 de Septiembre de 2014, de <http://www.mific.gob.ni/QUEESELISISTEM...>

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. (1997). Sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control (haccp) y directrices para su aplicación. Recuperado el 5 de Septiembre de 2014, de <http://www.fao.org/docrep/005/y1579s/y1579s03.htm>

Picado, J., & A., A. (2005). Agricultura orgánica. En preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos. San José.

Piedrahita, A., & Cabiedes, A. (2012). Elaboración de un abono tipo “bocashi” a partir de desechos orgánicos y sub producto de industria lactea (lacto suero) . Cali: Universidad de San Buenaventura CALI .

Primavessi, A. (1993). Manejo Ecológico de Suelo (Quinta ed.). Lima: Buenos Aires.

Ramis, G. (2001). Quimiometría. Madrid: EDITORIAL SÍNTESIS, S.A.

Restrepo, J. (2007). A, B, C de la Agricultura Orgánica y Harina de Rocas. Managua: SIMAS.

Rodríguez, R., & Capa, Á. (2004). Meteorología y Climatología (Primera ed.). España: FECYT.

Rostrán Luís, e. a. (2012). Manual de Abonos Orgánicos. León.

SAGARPA. (2002). Lombricultura. Mexico: SAGARPA.

Santamaria, S., & Ferrera, R. (2002). Dinámica poblacional de *Eisenia andrei* (Bouché 1972) en diferentes residuos orgánicos. Tierra Latinoamericana, 303-310.

Society of Environmental Toxicology and Chemistry. (2013). Welcome to the Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). Recuperado el 7 de Septiembre de 2014, de <http://www.setac.org/>

Steel, R., & Torrie, J. (1996). Bioestadística: principios y procedimientos (Primera ed.). México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA.

UNAN-León, & CNRA. (2010). Fortalecimiento de Capacidades para el Desarrollo de un Modelo de Producción Integral Sostenible en el Campus Agropecuario, CNRA-UNAN-León (Periodo junio2009-agosto2010). León.

Universidad Cooperativa de Colombia. (2013). Sistemas de Gestion Integral. Recuperado el 5 de Septiembre de 2014, de <http://www.ucc.edu.co/sistema-gestión...>

US Dept of State Geographer. (2014). Google earth. Recuperado el 20 de Noviembre de 2014

X. ANEXOS

Tabla 6: Análisis de varianza de las variables a las condiciones abióticas de la galera de producción de abonos orgánicos.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	Humedad	42924.789 ^a	8	5365.599	63.656	.000
	Temperatura	3263.788 ^b	8	407.973	134.736	.000
Intersección	Humedad	1547480.986	1	1547480.986	18358.907	.000
	Temperatura	625107.704	1	625107.704	206445.368	.000
Momento	Humedad	42428.577	2	21214.289	251.681	.000
	Temperatura	3250.759	2	1625.379	536.791	.000
Punto	Humedad	464.941	2	232.470	2.758	.064
	Temperatura	6.686	2	3.343	1.104	.332
Momento * Punto	Humedad	31.847	4	7.962	.094	.984
	Temperatura	6.491	4	1.623	.536	.709
Error	Humedad	57907.555	687	84.290		
	Temperatura	2080.206	687	3.028		
Total	Humedad	1642341.000	696			
	Temperatura	631624.000	696			
Total corregida	Humedad	100832.343	695			
	Temperatura	5343.994	695			

Tabla 7: Resultados de la prueba de Tukey para sub conjuntos homogéneos realizados a las condiciones abióticas dentro de la galera de producción de abonos.

Temperatura					Humedad				
HSD de Tukey ^a					HSD de Tukey ^a				
Momento	N	Subconjunto para alfa = .05			Momento	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3			1	2	3
1	228	26.97			2	228	40.18		
3	228		30.95		3	228		42.89	
2	228			32.07	1	228			58.13
Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig.		1.000	1.000	1.000

Tabla 8: Análisis de varianza de las variables temperatura, porcentaje de humedad y pH dentro de los canteros de producción de lombriabono.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	Temperatura en °C	177.278 ^a	5	35.456	1.755	.120
	Humedad en %	75942.299 ^b	5	15188.460	23.628	.000
	pH	1.404 ^c	5	.281	1.711	.130
Intersección	Temperatura en °C	286467.585	1	286467.585	14181.974	.000
	Humedad en %	7300299.635	1	7300299.635	11356.775	.000
	pH	43393.334	1	43393.334	264312.239	.000
Tratamiento	Temperatura en °C	.002	1	.002	.000	.993
	Humedad en %	73781.046	1	73781.046	114.778	.000
	pH	.187	1	.187	1.140	.286
Momento	Temperatura en °C	174.042	2	87.021	4.308	.014
	Humedad en %	1648.300	2	824.150	1.282	.278
	pH	1.150	2	.575	3.502	.031
Tratamiento * Momento	Temperatura en °C	3.234	2	1.617	.080	.923
	Humedad en %	512.952	2	256.476	.399	.671
	pH	.067	2	.033	.204	.816
Error	Temperatura en °C	18058.277	894	20.199		
	Humedad en %	574676.166	894	642.815		
	pH	146.772	894	.164		
Total	Temperatura en °C	304703.140	900			
	Humedad en %	7950918.100	900			
	pH	43541.510	900			
Total corregida	Temperatura en °C	18235.555	899			
	Humedad en %	650618.465	899			
	pH	148.176	899			

Tabla 9: Resultados de la prueba de Tukey para sub conjuntos homogéneos realizados a las variables temperatura y pH dentro de los canteros de producción de lombriabono.

Temperatura en °C				pH			
DHS de Tukey ^{a,b,c}				DHS de Tukey ^{a,b,c}			
Horas de muestreo	N	Subconjunto		Horas de muestreo	N	Subconjunto	
		1	2			1	2
7am	300	17.43		7am	300	6.89	
4:30pm	300	17.64	17.64	12pm	300	6.96	6.96
12pm	300		18.45	4:30pm	300		6.97
Sig.		.824	.073	Sig.		.078	.970

Tabla 10: Análisis de varianza de las variables temperatura, porcentaje de humedad y pH en lotes de producción de bokashi.

Pruebas de los efectos inter-sujetos						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	Temperatura	10517.000	7	1502.429	27.996	.000
	Humedad %	12116.440	7	1730.920	9.196	.000
	pH	6.222	7	.889	3.171	.004
Intersección	Temperatura	1361711.154	1	1361711.154	25374.276	.000
	Humedad %	191001.489	1	191001.489	1014.744	.000
	pH	9276.193	1	9276.193	33090.855	.000
Tratamiento	Temperatura	248.629	1	248.629	4.633	.070
	Humedad %	562.538	1	562.538	2.989	.084
	pH	4.359	1	4.359	15.550	.000
Momento	Temperatura	9481.044	1	9481.044	176.671	.000
	Humedad %	11064.985	1	11064.985	58.786	.000
	pH	1.496	1	1.496	5.336	.022
Hora	Temperatura	384.591	1	384.591	7.167	.008
	Humedad %	147.981	1	147.981	.786	.376
	pH	.001	1	.001	.002	.963
Tratamiento * Momento	Temperatura	153.797	1	153.797	2.866	.091
	Humedad %	141.094	1	141.094	.750	.387
	pH	.015	1	.015	.054	.816
Tratamiento * Hora	Temperatura	46.349	1	46.349	.864	.353
	Humedad %	4.852	1	4.852	.026	.872
	pH	.462	1	.462	1.647	.201
Momento * Hora	Temperatura	67.593	1	67.593	1.260	.262
	Humedad %	147.986	1	147.986	.786	.376
	pH	.034	1	.034	.123	.727
Tratamiento * Momento * Hora	Temperatura	.211	1	.211	.004	.950
	Humedad %	194.067	1	194.067	1.031	.310
	pH	.002	1	.002	.009	.926
Error	Temperatura	38155.832	711	53.665		
	Humedad %	133828.896	711	188.226		
	pH	41.488	148	.280		
Total	Temperatura	1418970.760	719			
	Humedad %	336928.853	719			
	pH	9378.750	156			
Total corregida	Temperatura	48672.832	718			
	Humedad %	145945.336	718			
	pH	47.710	155			

Tabla 11: Estadísticos descriptivos de la temperatura, humedad y pH en la etapa de alimentación de las lombrices.

Descriptivos									
		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Temperatura en °C	1cm	1836	17.44	4.504	.105	17.24	17.65	10	27
	2cm	1836	17.40	4.544	.106	17.19	17.61	10	27
	Total	3672	17.42	4.523	.075	17.28	17.57	10	27
Humedad en %	1cm	1836	83.234	12.6282	.2947	82.656	83.812	70.0	100.0
	2cm	1836	89.902	12.5463	.2928	89.327	90.476	70.0	100.0
	Total	3672	86.568	13.0198	.2149	86.147	86.989	70.0	100.0
pH	1cm	447	6.93	.393	.019	6.89	6.97	6	8
	2cm	447	6.96	.421	.020	6.92	7.00	6	8
	Total	894	6.94	.407	.014	6.92	6.97	6	8

Tabla 12: Estadísticos descriptivos de la temperatura, humedad y pH en la etapa de fermentación del abono y control de la temperatura.

Descriptivos									
		N	Media	Desviación típica	Error típico	la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Temperatura	Tierra	360	43.12	7.061	.372	42.39	43.85	30	68
	Materia Compostado	360	44.23	9.261	.488	43.27	45.19	27	68
	Total	720	43.68	8.248	.307	43.07	44.28	27	68
Humedad %	Tierra	359	17.176	14.4033	.7602	15.681	18.671	.5	89.1
	Materia Compostado	360	15.423	14.0754	.7418	13.964	16.881	.0	86.5
	Total	719	16.298	14.2572	.5317	15.254	17.342	.0	89.1
pH	Tierra	78	7.57	.514	.058	7.45	7.69	7	9
	Materia Compostado	78	7.90	.549	.062	7.77	8.02	6	9
	Total	156	7.73	.555	.044	7.65	7.82	6	9

Tabla 13: Litros de alimento suministrados durante la etapa de alimentación de las lombrices

Tratamiento	Litros de alimento suministrados en cada alimentación	Litros de alimento totales suministrados
1cm	20	1597.43
2cm	40	1735.5

Hojas de muestreos utilizadas para la recolección de datos durante la investigación

Tabla 14: Hoja de muestreo para la recolección de datos del experimento lombriabono

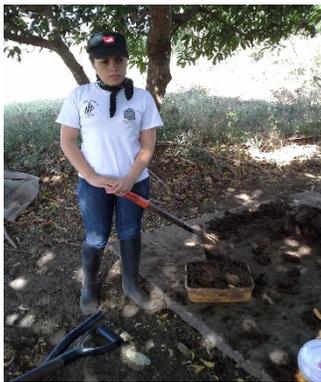
Horas	Tratamiento	Repetición	Temperatura			Humedad			pH
07:00am	1cm	1							
		2							
		3							
	2cm	1							
		2							
		3							
12:00pm	1cm	1							
		2							
		3							
	2cm	1							
		2							
		3							
4:30pm	1cm	1							
		2							
		3							
	2cm	1							
		2							
		3							

Tabla 15: Hoja de muestro para la recolección de datos del experimento bokashi

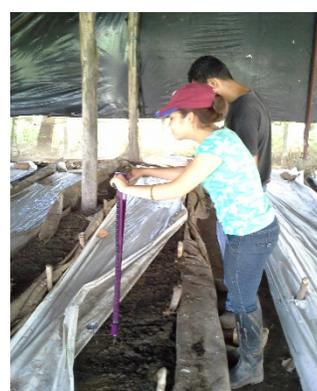
Horas	Tratamiento	Repetición	Temperatura			Humedad			pH
9:00am	Tierra	1							
		2							
		3							
		4							
	Material Compostado	1							
		2							
		3							
		4							
3:00pm	Tierra	1							
		2							
		3							
		4							
	Material Compostado	1							
		2							
		3							
		4							



Anexo 1: Establecimiento del experimento de lombrifono.



Anexo 2: Alimentación de las lombrices en el proceso de producción del abono lombrifono.



Anexo 3: Medición de variables en el proceso de producción del abono lombrifono.



Anexo 4: Volteo y mezcla de materiales en el proceso de producción del abono bokashi.



Anexo 5: Medición de variables en el proceso de producción del abono bokashi.