

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (EISENIA FOETIDA) PARA
LA PRODUCCIÓN DE ABONOS CON LOS RESIDUOS ORGÁNICOS
GENERADOS EN LA CAFETERÍA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE





EVALUACIÓN DEL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (EISENIA FOETIDA) PARA
LA PRODUCCIÓN DE ABONOS CON LOS RESIDUOS ORGÁNICOS
GENERADOS EN LA CAFETERÍA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE

JOHN FERNANDO COBALEDA BARRETO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI
2015



EVALUACIÓN DEL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (EISENIA FOETIDA) PARA
LA PRODUCCIÓN DE ABONOS CON LOS RESIDUOS ORGÁNICOS
GENERADOS EN LA CAFETERÍA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE

JOHN FERNANDO COBALEDA BARRETO

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL
TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA

DIRECTOR:
ING. ALDEMAR REYES TRUJILLO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE RECURSOS NATURALES Y DEL MEDIO AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI
2015

NOTA DE APROBACIÓN

FIRMA DIRECTOR

FIRMA JURADO 1

FIRMA JURADO 2

DEDICATORIA

A mi abuela MARÍA HERMINIA ORTIZ (q.e.p.d) por su apoyo y consejos que siempre me inculco desde pequeño, por enseñarme hacer una persona honesta. Este logro es para ti, no pudiste acompañarme en este momento pero sé que desde el cielo estas feliz y orgullosa de mi.

A mi madre LUCY CONSUELO BARRETO y a mi tía MILENA BARRETO por brindarme su apoyo incondicional, sus enseñanzas, sus consejos y darme una voz de aliento por todas mis cosas.

A Dios por permitirme alcanzar todas las metas que me he propuesto en la vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Valle, por aportar en mi vida los conocimientos necesarios para desarrollar este trabajo, además el préstamo de las instalaciones para la realización de este proyecto y agradezco a las personas que de alguna u otra forma contribuyeron en la realización del este proyecto de grado.

Al profesor ALDEMAR REYES TRUJILLO por aceptarme como tesista y brindarme enseñanzas con el desarrollo profesional y personal.

A CATHERINE GÓMEZ, HEBERT HERNÁNDEZ por su colaboración en el préstamo de los servicios del laboratorio LASA de la Universidad del Valle.

A HECTOR FABIO QUINTERO encargado de la cocina de la Cafetería Central y al PERSONAL DE LA FRUTERÍA por la disposición que siempre tuvieron al momento de recolectar los residuos orgánicos

Y en general a todos los compañeros que de una u otra forma hicieron parte de este proyecto especialmente a JULIAN PAVAS, JEFFERSON, DIANAN C, EDWIN, JOHAN, DIANA V, JAVIER, VANESSA, JOHANA. Gracias por hacer parte de este proceso académico.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.2 Objetivo General	13
2.3 Objetivos Específicos.....	13
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. MARCO TEORICO	16
4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS.....	16
4.1.1 Residuos orgánicos.....	16
4.1.2 Residuos inorgánicos	16
4.2 ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PARA RESIDUOS ORGÁNICOS....	17
4.2.1 Compostaje	17
4.2.2 Compost.....	17
4.2.3 Lombricompostaje	17
4.3 ELABORACIÓN DEL LOMBRICOMPOSTAJE	18
4.3.1 Tipos de lombrices	18
4.3.2 Lombriz Roja Californiana.....	18
4.3.3 Clasificación taxonómica de la lombriz	19
4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS A COMPOSTAR	19
4.4.1 Temperatura.....	19
4.4.2 Humedad	20
4.4.3 Aireación	20
4.4.4 Alimentación.....	20
4.4.5 Actividad Microbiana.....	20
4.4.6 Relación Carbono/Nitrógeno (C/N).....	21
4.4.7 Carbono orgánico	22
4.4.8 Materia Orgánica	22
4.4.9 PH	23
4.4.10 Densidad real y aparente	24
4.4.11 Nitrógeno (N)	24
4.4.12 Potasio (P)	24
4.4.13 Fosforo (K)	24

5	METODOLOGÍA	25
5.1	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	25
5.2	ADECUACIÓN DEL INVERNADERO	26
5.3	DETERMINACIÓN Y DISPONIBILIDAD DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS	27
5.4	DISEÑO EXPERIMENTAL	28
5.5	DISEÑO ESTADÍSTICO	28
5.6	TIPOS DE TRATAMIENTO UTILIZADOS	35
5.6.1	Tratamiento 1:	35
5.6.2	Tratamiento 2:	35
5.6.3	Tratamiento 3:	35
5.7	PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS UTILIZADO EN LOS TRATAMIENTOS	36
5.7.1	Pesaje	36
5.7.2	Triturado	36
5.7.3	Pre-Descomposición	37
5.7.4	Alimentación de la Lombriz Roja Californiana	38
5.8	FASE DE CAMPO	39
5.9	FASE DE LABORATORIO	40
5.9.1	Actividad microbiana, pH, humedad, temperatura	41
5.9.2	Carbono orgánico, densidad real, nitrógeno	41
5.9.3	Eliminación de materia orgánica	41
5.10	PARÁMETROS NUTRICIONALES	43
6	RESULTADO Y DISCUSIÓN	44
6.1	Residuos provenientes de la sección de la Cafetería Central y Frutería de la Universidad del Valle.	44
6.2	SEGUIMIENTOS VARIABLES DE CONTROL	46
6.2.1	Temperatura	46
6.1.1	PH	48
6.3	ANÁLISIS DE VARIABLES DE RESPUESTA	49
6.3.1	Actividad microbiana	50
6.3.2	Carbono orgánico	51
6.3.3	pH	52
6.3.4	Densidad Real	52

6.3.5	Nitrógeno Total	53
6.3.6	Oxido de Fosforo Total	54
6.3.7	Oxido de potasio Total	55
6.3.8	Relación Carbono-Nitrógeno	56
6.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA.....	57
7.	CONCLUSIONES	61
8.	RECOMENDACIONES	64
9.	BIBLIOGRAFÍA	66
10.	ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.	Relación posible entre respiración, Actividad Biológica en el suelo y la condición del suelo.....	21
Tabla 2.	Relación C/N de algunos materiales en el Compostaje.....	22
Tabla 3.	Residuos Recolectados.....	27
Tabla 4.	Variables de seguimiento.....	40
Tabla 5.	Variables de respuesta fase de evaluación.....	40
Tabla 6.	Requerimientos de calidad para abonos orgánicos de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 5167.....	43
Tabla 7.	Menú Restaurante Central del 2 al 6 de Febrero del 2015.....	44
Tabla 8.	Residuos orgánicos generados en el Restaurante Central del 2 al 6 de Febrero de 2015.....	45
Tabla 9.	Varíales de respuesta con sub-muestro.....	49
Tabla 10.	Variables de respuesta.....	49
Tabla 11.	Resultado análisis estadístico, valor p, normalidad y homogeneidad...57	
Tabla 12.	Resultado prueba no paramétrica de kruskal Walis.....	58
Tabla 13.	Rango de valores para pH.....	59
Tabla 14.	Resultados de la prueba post-anova de U de Mann Whitney.....	60

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Comportamiento temperatura del tratamiento 1.....	46
Grafica 2. Comportamiento temperatura del tratamiento 2.....	46
Grafica 3. Comportamiento temperatura del tratamiento 3.....	47
Grafica 4. Comportamiento pH de los 3 tratamientos.....	48
Grafica 5. Contenido de Actividad Microbiana.....	50
Grafica 6. Contenido de Carbono Orgánico y Materia Orgánica.....	51
Grafica 7. Contenido de pH.....	52
Grafica 8. Contenido de Densidad Real.....	52
Grafica 9. Contenido de Nitrógeno Total.....	53
Grafica 10. Contenido de Oxido de Fosforo Disponible.....	54
Grafica 11. Contenido de Oxido de potasio Disponible.....	55
Grafica 12. Relación Carbono/nitrógeno.....	56

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. pH del suelo, rangos de las clases de pH y condiciones edáficas asociadas.....	23
Imagen 2. Localización invernadero.....	25
Imagen 3. Adecuación invernadero.....	26
Imagen 4. Residuos inorgánicos encontrados en la clasificación.....	28
Imagen 5. Tipos de Residuos Orgánicos.....	35
Imagen 6. Peso residuos orgánicos recolectados.....	36
Imagen 7. Molino de cuchillas.....	37
Imagen 8. Residuos triturados.....	37
Imagen 9. Pre-descomposición de residuos orgánicos.....	38
Imagen 10. Alimentación.....	38
Imagen 11. Producto final.....	39
Imagen 12. Mufla.....	41
Imagen 13. Distribución exacta de Mann Whytney.....	59

1. INTRODUCCIÓN

La generación de residuos orgánicos en el mundo se ha incrementado debido a la alta población humana que habita en el planeta, por lo que en gran medida el futuro de la humanidad está en función de detener los procesos de contaminación ambiental, con el propósito de alcanzar una mayor equidad en el desarrollo de la sociedad. (Tortosa Muñoz, 2011).

Tradicionalmente las estrategias para tratar adecuadamente estos residuos eran limitadas y no brindaban las garantías necesarias para considerarlas ambientalmente viables. Es el caso de los botaderos al aire libre, en donde simplemente se acomodaba el residuo sólido recolectado en un terreno, sin tratamiento alguno, desencadenando un sin número de problemas de carácter ambiental, social y de salud pública. (Tortosa Muñoz, 2011).

Con el fin de minimizar los problemas ambientales generados por la producción de residuos es necesario considerar tecnologías que contemplen el aprovechamiento de los residuos. Hoy en día se habla mucho de una agricultura sostenible, implicando estudiar la mejor forma de eliminar eficientemente los materiales químicos que se emplean, como también buscar nuevas y novedosas vías en la utilización de los fertilizantes orgánicos en tanto son mejoradores de los suelos y por consiguiente logrando altas producciones. En la actualidad, los fertilizantes químicos son los más utilizados para lograr mejores cultivos y plantas; el problema que surge con la utilización de estos fertilizantes, es que son muy contaminantes con el medio ambiente, causando erosión en el suelo, ya que por lo general son sales derivadas de sintéticos de carbono mineral o de productos de petróleo.

Así, una respuesta a la inquietud anterior, es el caso de la lombricultura definida como la elaboración de compost con a partir del trabajo realizado por lombrices, las cuales pueden comer cada día el equivalente al 30% de su peso, convirtiendo los residuos orgánicos en un material parecido al suelo que contiene muchos nutrientes y es un buen fertilizante. (Clean Up theWorld, 2008).

Con forme a lo anterior es evidente que la lombriz de tierra es uno de los integrantes de la biología que realizan labores beneficiosas, en tanto ayudan al hombre en la explotación agropecuaria y, por ende no hay duda que en Colombia la actividad de lombricultura está llamada a convertirse en una fuente de ingresos y su producto promete ser sustituto de los concentrados para los animales y de los fertilizantes para las plantas por resultar más económicos y de buena calidad.

Así, por lo anteriormente expuesto, surge el interés y motivación en incorporar nuevas posibilidades de hacer lombricultura, a través del trabajo de grado denominado: “Evaluación del proceso de lombricompostaje mediante la utilización de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) para la producción de Abonos con los Residuos Orgánicos generados en la Cafetería Central de La Universidad del Valle”, toda vez que al interior de la institución educativa, se tiene la fortaleza para convertirse en generadora de fertilizantes de origen natural de bajo costo y, de utilidad sin ser perjudiciales para el medio ambiente a partir de utilizar los residuos orgánicos generados en el Campus Universitario.

2. OBJETIVOS

2.2 Objetivo General

- Evaluar el proceso de lombricompostaje mediante la utilización de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en la Universidad del Valle.

2.3 Objetivos Específicos

- Determinar la producción de los residuos sólidos orgánicos generados en la Cafetería Central de la Universidad del Valle y la Frutería.
- Determinar la eficiencia de diferentes mezclas de residuos orgánicos utilizados para la alimentación de lombrices y obtener abonos a través del proceso de lombricompostaje.
- Caracterizar el lombricompuesto de acuerdo con la normatividad vigente, Norma Técnica Colombiana 5167.

3. JUSTIFICACIÓN

En la naturaleza, el hombre ha encontrado la respuesta a muchos problemas de contaminación orgánica y es justamente allí donde nace la lombricultura, como una respuesta racional y económica.

Hoy en día la lombricultura es un medio que utiliza a una especie doméstica de lombriz, la lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*), como una herramienta de trabajo que recicla todo tipo de residuos orgánicos y obtiene como fruto de este proceso un abono o enmienda, producto de las excretas de la lombriz.

Estudios en Colombia indican que en el país se generan aproximadamente 23.000 toneladas diarias de basuras y en la ciudad de Cali aproximadamente 1.800 toneladas diarias de residuos, (Moreno Rodriguez & Bernal Jimenez, 2009). Más del 50% de estos desechos son de carácter orgánico, los cuales constituyen una fuente importante de alimento para varios animales, entre ellos la lombriz Roja Californiana.

Es importante precisar que estos desechos son desaprovechados, enterrándolos sin darle ningún uso en los vertederos o rellenos sanitarios de nuestras ciudades y, por consiguiente esta situación reclama la necesidad urgente de desarrollar nuevas técnicas y proyectos para la degradación y aprovechamiento de los mismos.

El hecho de establecer que los residuos orgánicos pueden ser una fuente aceptable de alimentación para la lombriz de tierra, implicaría importantes avances en el tratamiento de estos, ya que de una u otra forma se estarían reciclando y convirtiendo en materiales útiles y, excelente aporte para solucionar la problemática ambiental que estos generan.

En la Universidad del Valle se presenta un problema de control y manejo adecuados de los residuos generados por la sección de Restaurante, Servicios Varios, Cafeterías y ventas ambulantes dentro del Campus Universitario, causando un impacto ambiental negativo, ya que todos los residuos se mezclan, desaprovechando así su potencial para el desarrollo de productos como el abono orgánico. Aproximadamente el 30% de materia orgánica que se tira a la basura podría reciclarse como abono; caso que se observa en la Sección de Restaurante de la Universidad del Valle que genera aproximadamente de 300 a 400 kg por día de acuerdo al menú, la cual se deposita en los contenedores que posteriormente

son recogidos por el carro recolector que mezcla los residuos perdiéndose el potencial de estos. (Loaiza & Barcenás, 2008).

Así, como una alternativa de solución a lo antes expuesto y, dado que los suelos son cada vez más pobres y, la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), es capaz de degradar y transformar toda materia orgánica en dos productos de excelente calidad en cuanto a contenido proteico: su propia estructura corporal y sus desechos bajo forma de humus, es importante adelantar el proyecto de investigación tendiente a comprobar la efectividad de los residuos orgánicos y la garantía de optimizar los mismos, producidos por el Lombricompost, sobre la base de los desechos de la Cafetería de la Universidad del Valle, alimento potencial para la explotación en gran escala de la lombriz de tierra.

4. MARCO TEORICO

4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS

Existen muchas formas de clasificación de los residuos, admite varios enfoques y la consideración de distintos parámetros, la clasificación por la naturaleza química permite establecer dos categorías de residuos: residuos orgánicos y residuos inorgánicos.

4.1.1 Residuos orgánicos

Actualmente, el problema de los residuos sólidos ha sido su eliminación, pues su presencia es más evidente que la de otro tipo de residuos, el crecimiento acelerado de la población, así como el proceso de industrialización, han aumentado la generación de residuos, estos de gran porcentaje de la basura procedente de los hogares que va a parar a los vertederos.

Ramos Mosquera (2011) define los residuos orgánicos como aquellos que tienen la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, (se descomponen naturalmente). Es decir se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Como por ejemplo: restos de comida, frutas y verduras, carne, huevos o pueden tener un tiempo de degradación más lento, como procedentes de la podas de plantas, cartón y el papel.

4.1.2 Residuos inorgánicos

Incluye todo desecho de origen no biológico, de origen industrial o de algún otro proceso no natural. Dentro de esta categoría se incluyen habitualmente metales, plásticos, vidrios, etc. Desechos provenientes de agro-tóxicos, agroquímicos, fitosanitarios y agro-veterinarios, son en su mayoría de origen sintético y con un gran efecto residual.

4.2 ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PARA RESIDUOS ORGÁNICOS

4.2.1 Compostaje

Es la transformación biológica de los residuos orgánicos llevada a cabo por los microorganismos debido a la cual elementos químicos como N, C, K, P y S de compuestos complejos se liberan; sustancias como la celulosa y la proteína entre otras se degradan en otras más simples sin olor desagradable y así son ingeridas por las lombrices (Díaz, 2002)

En términos generales el compostaje se puede definir como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica. La biodegradación es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición.

4.2.2 Compost

De acuerdo a la NTC 5167, se define como el producto que resulta del proceso de compostaje, está constituido principalmente por materia orgánica estabilizada, donde no se reconoce su origen, puesto que se degrada generando partículas más finas y oscuras.

4.2.3 Lombricompostaje

Es una actividad productiva que genera abono orgánico, como insumo indispensable a las actividades agrícolas, y a su vez, genera un medio de vida principalmente para micro, pequeños y medianos productores. Es el producto de la descomposición de la materia orgánica, actividad realizada únicamente por ciertas especies de lombrices, principalmente las de género Eisenia, siendo la más utilizada La lombriz Roja de California, facilitando que el proceso se realice más rápidamente. (Yomara, 2005)

4.3 ELABORACIÓN DEL LOMBRICOMPOSTAJE

La elaboración de Lombricompost o abono de lombriz, es un abono orgánico 100% natural, que se obtiene de la transformación del estiércol procesado, residuos orgánicos, entre otros, por medio de la lombriz. Así, en su proceso al consumir los mismos y posteriormente pasar por el tracto digestivo, depositan los residuos en forma de lombricompuesto, el cual se caracteriza por contar con excelentes propiedades para el mejoramiento de las condiciones físicas y químicas, favoreciendo la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas. Al mismo tiempo, al reproducirse profusamente se convierte en condiciones favorables de una fuente de proteína animal, para su uso como harina o como alimento. Entre otros beneficios que proporciona se puede citar: incorpora materia orgánica y microorganismos en el suelo, es un regulador del pH, mejora las condiciones del suelo tanto en lo referente a la retención de agua, aporte de macronutrientes y micronutrientes. (FAO, 2004)

4.3.1 Tipos de lombrices

Se estima que hay en el planeta más de 8500 especies de lombrices, entre las cuales la más conocida es la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*), sin embargo para el manejo de desechos orgánicos se utilizan lombrices especiales, que reúnan ciertos requisitos tales como alta voracidad, alta capacidad reproductiva, fáciles de trabajar y con capacidad para adaptarse a condiciones adversas, desde los 0 hasta los 3000 msnm. La especie más utilizada en la lombricultura y que reúnen los requisitos anteriormente citados es la Lombriz Roja de California (*Eisenia Foetida*), especie utilizada en el 80% de los criaderos a nivel mundial. (Martinez, 1999).

4.3.2 Lombriz Roja Californiana

Es originaria los E.E.U.U, donde se descubrieron sus propiedades para el ecosistema y donde se instalaron los primeros criaderos. La lombriz roja de California (*Eisenia foetida*), viven normalmente en zonas con climas templados, su temperatura corporal oscila entre 19 y los 20 °C, miden de 6 a 8 cm de longitud con un diámetro que oscila entre 3 y 5 mm. Poseen cuerpos alargados, segmentado y con simetría bilateral, de color rojo oscuro. La madurez sexual de la lombriz es a los 3 meses, presentan ambos sexos en un mismo individuo pero no se pueden auto-fecundarse. (Ferruzzi, 1986).

4.3.3 Clasificación taxonómica de la lombriz

Reino: Animal
Tipo: Anélida
Clase: Oligoqueta
Familia: Lombrícidae
Género: Lombricus, Eisenia
Especies: Lombricus terrestris (de tierra común)
Eisenia foetida (Californiana)
Eudrillus eugenie (Africana)

4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS A COMPOSTAR

La descripción que se consideran relevantes de los residuos, y que inciden en forma directa en la evolución del proceso y en la calidad del producto final, es posible que el empleo de diversos desechos orgánicos y la preparación del sustrato alimentarios, deben ser tratados con precaución para no perder nutrientes. Hay que tener en cuenta algunos factores importantes para la producción de abonos:

4.4.1 Temperatura

La temperatura es otro de los factores que influyen en la reproducción, producción y fecundidad. Una temperatura entre 18 a 25 grados centígrados es considerada óptima, que conlleva el máximo rendimiento de las lombrices. Durante el verano si la temperatura es muy elevada, se recurrirá a riegos más frecuentes, manteniendo los lechos, procurando que las lombrices no emigren buscando ambientes más frescos. (Castillo, 2010)

4.4.2 Humedad

La humedad es un factor de mucha importancia que influye en la reproducción. Debe estar entre el 70 y 80%. Una humedad superior al 85 % hace que las lombrices entren en un período de latencia y se afecta la producción de Lombricompost y la reproducción. Debajo de 70 % de humedad es una condición desfavorable. Niveles de humedad inferiores al 55 % son mortales para las lombrices. (Cajas Sanchez, 2009)

4.4.3 Aireación

Es fundamental para la correcta respiración y desarrollo de las lombrices. Si la aireación no es la adecuada el consumo de alimento se reduce; además del apareamiento y reproducción debido a la compactación. Dentro del lecho debe existir un adecuado intercambio gaseoso, el cual está relacionado con la textura del sustrato. (Cajas Sanchez, 2009)

4.4.4 Alimentación

Las lombrices obtienen su nutrición de los microorganismos que crece en la materia orgánica, al mismo tiempo se promueve una actividad microbiana mayor en los residuos que se producen, que son mucho más fragmentados y activos microbiallymente que la materia original consumida, es necesario que la calidad que se proporcionara del alimento sea la mejor, ya que con esto se lograra éxito en la crianza de lombrices, aseguramos la rápida reproducción del pie de cría cuando el alimento proporcionado es de óptima calidad, aumentando con ello el desarrollo y cantidad de lombrices en un corto tiempo. (Cajas Sanchez, 2009)

4.4.5 Actividad Microbiana

La actividad microbiana se desarrolla en función de factores intrínsecos y extrínsecos al sistema suelo, por lo cual constituye un indicador de la dinámica del suelo y de la salud del recurso, pues una buena actividad microbiana puede ser el reflejo de óptimas condiciones físicas y químicas que permitan el desarrollo de los procesos metabólicos de bacterias, hongos, algas y actinomicetos y de su acción sobre los sustratos orgánicos.

Tabla 1. Relación posible entre respiración, Actividad Biológica en el suelo y la condición del suelo

RESPIRACIÓN (Kg CO₂-C POR Ha POR DÍA)	ACTIVIDAD MICROBIANA	CONDICIÓN DEL SUELO
0	Sin actividad del suelo	El suelo no presenta actividad biológica y es virtualmente estéril.
< 10.64	Actividad del suelo muy baja.	El suelo ha perdido mucha materia orgánica disponible y presenta poca actividad biológica.
10.64 – 17.92	Actividad del suelo moderadamente baja.	El suelo ha perdido parte de materia orgánica disponible y la actividad biológica es baja.
17.92 – 35.84	Actividad del suelo mediana.	El suelo se está aproximando, o alejando, de un estado ideal de actividad biológica.
35.84 – 71.68	Actividad del suelo ideal	El suelo se encuentra en un estado ideal de actividad biológica y posee adecuada materia orgánica y activas poblaciones de microorganismos.
> 71.68	Actividad del suelo inusualmente alta.	El suelo tiene un muy elevado nivel de actividad microbiana y tiene elevados niveles de materia orgánica disponible, posiblemente a través del agregado de grandes cantidades de materia orgánica fresca o abonos.

Fuente. (Doran, Kettler, & Tsivou, 1997)

4.4.6 Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

La relación C/N, expresa las unidades de Carbono por unidades de Nitrógeno que contiene un material. El Carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el Nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. (Loaiza Mera & Barcenás Rodríguez, 2008).

En términos generales, esta relación indica la fracción de carbono orgánico frente a la de nitrógeno. Prácticamente la totalidad del nitrógeno orgánico presente en un residuo orgánico es biodegradable y, por tanto disponible.

Tabla 2. Relación C/N de algunos materiales en el Compostaje

Nivel alto de nitrógeno 1:1 – 24:1		C:N equilibrado 25:1 – 40:1		Nivel alto de carbono 41:1 – 1000:1	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5	Estiércol vacuno	25:1	Hierba recién cortada	43:1
Gallinaza pura	7:1	Hojas de frijol	27:1	Hojas de árbol	47:1
Estiércol porcino	10:1	Crotalaria	27:1	Paja de caña de azúcar	49:1
Desperdicios de cocina	14:1	Pulpa de café	29:1	Basura urbana fresca	61:1
Gallinaza camada	18:1	Estiércol ovino/caprino	32:1	Cascarilla de arroz	66:1
		Hojas de plátano	32:1	Paja de arroz	77:1
		Restos de hortalizas	37:1	Hierba seca (gramíneas)	81:1
		Hojas de café	38:1	Bagazo de caña de azúcar	104:1
		Restos de poda	44:1	Mazorca de maíz	117:1
				Paja de maíz	312:1
				Aserrín	638:1

Fuente: (Roman, Martinez, & Pantoja, 2013)

4.4.7 Carbono orgánico

El carbono del suelo está presente en la forma orgánica e inorgánica. La forma orgánica equivale a la mayor reserva en interacción con la atmósfera. El carbono orgánico presente en el suelo representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). (Rugnitz Tito, Chacon leon, & Porro, 2009)

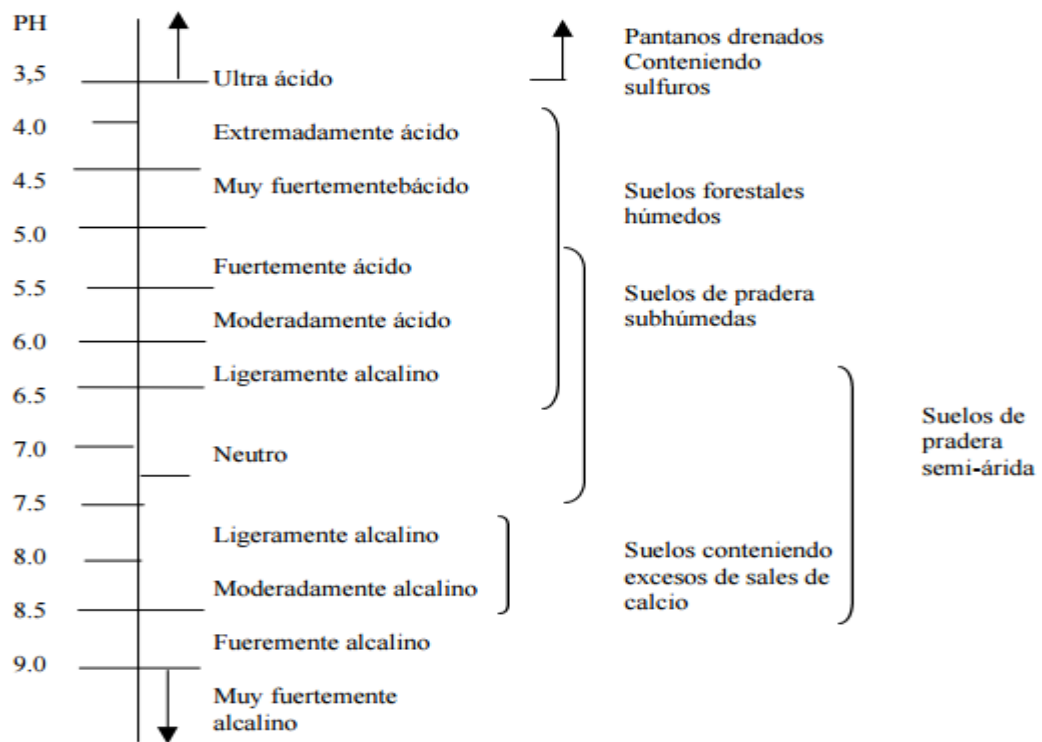
4.4.8 Materia Orgánica

La materia orgánica mejora las calidades de los suelos pues incrementan su permeabilidad, aireación y capacidad de retención de agua, disminuye la compactación de las arcillas y da mayor cohesión a los terrenos sueltos. También define la estructura y regula la temperatura de los suelos, pues da la coloración oscura propia del lombricompostaje. (Trejos Arana & Camacho Hernandez, 2003)

4.4.9 PH

Las mayorías de bacterias o microorganismos tanto como las lombrices que intervienen en el proceso de fermentación aerobia y en el compostaje de la materia orgánica, se desarrollan bien en medio poco ácido o neutro, e incluso mejor si es ligeramente alcalino (pH entre 5 y 8.4), esto favorece la rápida degradación de la materia orgánica y la lombriz acepta fácilmente los sustratos.

Imagen 1. pH del suelo, rangos de las clases de pH y condiciones edáficas asociadas



Fuente. (USDA, 1999)

4.4.10 Densidad real y aparente

La densidad real es la relación que existe entre la masa de las partículas secas y el volumen real de la fase sólida (no el volumen aparente) conformada por las mismas, en contraste con la densidad aparente. (Thompson & troeh, 2002).

La densidad aparente se define como el peso de una unidad de volumen de suelo que incluye su espacio poroso. La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire). (Thompson & troeh, 2002)

4.4.11 Nitrógeno (N)

Este elemento es el máspreciado para valorar la calidad de un abono orgánico por su importancia en la construcción de fitomasa, por la complejidad de su dinámica química (nitrificación-denitrificación) y por las posibilidades de la perdida por lixiviación y volatilización. Lo deseable para una buena calidad de abonos orgánicos es que su contenido en este elemento se 2-3% y se encuentre estabilizado. (Trejos Arana & Camacho Hernandez, 2003)

4.4.12 Potasio (K)

Su liberación se encuentra vinculada a la descomposición del abono orgánico en el suelo; tal cual ocurre con el N y el S. valores por encima de 1% se consideran buenos y mayores de 2% excelentes. (Trejos Arana & Camacho Hernandez, 2003)

4.4.13 Fosforo (P)

Es el elemento de mayor disponibilidad por cuanto es de carácter funcional; no constitutivo de la arquitectura vegetal. La disponibilidad inmediata esta en valores del 70 al 90% que si bien es una ventaja representa un riesgo de pérdida por lixiviación, lo cual lleva al que si se deja el residuo o recurso orgánico a la intemperie se empobrezca por la acción de lluvias. (Trejos Arana & Camacho Hernandez, 2003)

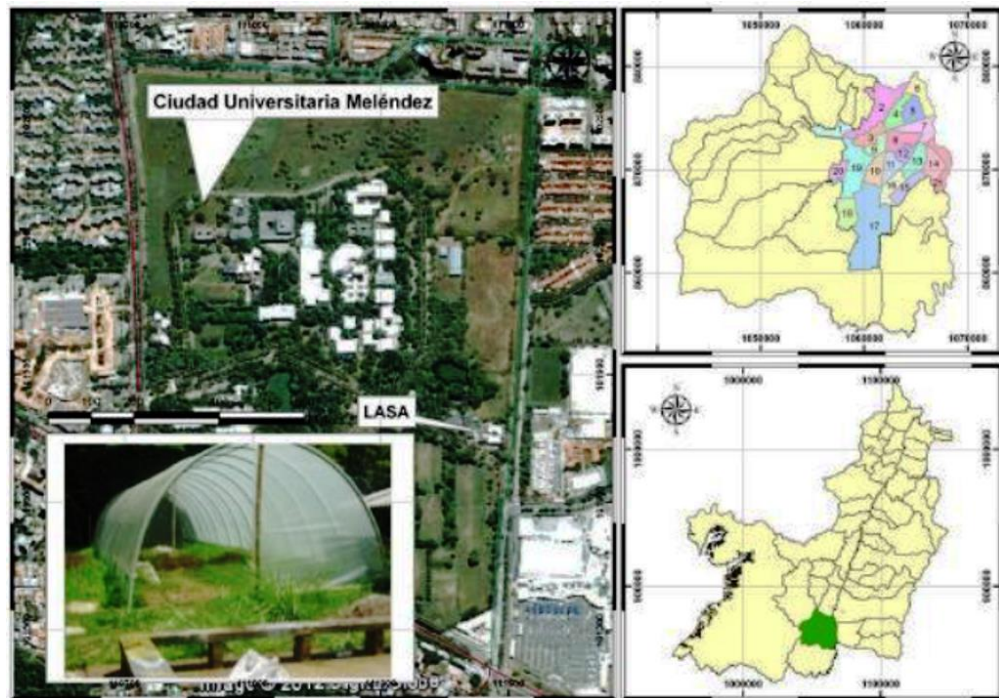
5 METODOLOGÍA

Desde el punto de vista metodológico fue necesario planear y ejecutar actividades y utilizar técnicas y procedimientos tendientes al logro de los objetivos propuestos, que van desde ubicación y adecuación del invernadero y camas, pasando por el reconocimiento de los residuos orgánicos generados, y recolección y proceso de trituración de los mismos, alimentación, seguimiento a los tratamientos, pruebas, análisis en el laboratorio y definición de técnicas estadísticas, entre otras actividades, las cuales se relacionan a continuación:

5.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El proyecto de investigación se ubica en las instalaciones del Laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas (LASA), perteneciente a la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente EIDENAR, de la Universidad del Valle sede Meléndez, la cual se circunscribe en la Comuna 17 del Municipio de Santiago de Cali, Valle del Cauca, con una altura de 979msnm; y coordenadas geográficas: latitud $3^{\circ}22'33.55''$ N, longitud $76^{\circ}31'58.43''$ O.

Imagen 2. Localización invernadero



(Jurado & Torres, 2013)

5.2 ADECUACIÓN DEL INVERNADERO

Como medio para adelantar el proceso de lombricompostaje, se utilizó uno de los invernaderos ubicados en la parte posterior del Laboratorio LASA, el cual se caracteriza por contar con las siguientes medidas: 2.60 metros de ancho, 3.50 metros de largo y 2.40 metros de alto. Para su adecuación fue necesario retirar el plástico que cubría su parte frontal y posterior y remplazarlo por polisombra, a fin de airear el mismo, en razón a que una mayor temperatura afecta la eficiencia de la lombriz para producir abono.

Imagen 3. Adecuación invernadero



Posteriormente, de acuerdo con lo existente, se prosiguió con la adecuación de tres (3) módulos o camas, cada uno de 90 centímetros de largo, 100 centímetros de ancho y 38 centímetros de profundidad, los cuales permitirán llevar a cabo los tratamientos a utilizar.

5.3 DETERMINACIÓN Y DISPONIBILIDAD DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS

Los residuos orgánicos utilizados para la elaboración de Lombricompostaje provienen de la cafetería central y frutería de la Universidad del Valle, los cuales, fueron recolectados en horas de la mañana y se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Residuos Recolectados

LUGAR	MATERIALES COMPOSTADOS
FRUTERÍA	Piña
	Papaya
	Sandia
	Guanábana
	Banano
	Mango
CAFETERÍA CENTRAL	Tomate
	Zanahoria
	Pepino
	Cebolla
	Plátano Verde
	Yuca
	Papa

Es importante señalar que los residuos orgánicos, descritos de la tabla 3 en su fuente de origen fueron suministrados indistintamente, lo que implicó adelantar un proceso de clasificación para efectos de utilizarlos en los tratamientos previstos.

5.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Teniendo como referencia la diversidad de residuos generados, fue necesario separar los residuos orgánicos e inorgánicos en tanto se encontraron de estos últimos, un número considerable tales como: bolsas plásticas, guantes de látex, vasos plásticos, servilletas, etc.

Imagen 4. Residuos inorgánicos encontrados en la clasificación



Posteriormente se desarrolló la clasificación de los residuos orgánicos a fin de implementar tres (3) tratamientos los cuales son objeto de análisis, mediante la aplicación del modelo estadístico: Diseño Simple completamente al Azar (DCA), el cual ha sido ampliamente utilizado en experimentos agrícolas.

5.5 DISEÑO ESTADÍSTICO

- Manejo de unidades experimentales

Los módulos o camas de lombricompostaje se consideraron como las unidades experimentales y en cada una de ellas se ubicó un registro de campo que permitía hacer un chequeo rápido de la información. Al finalizar el proceso se compararon los tratamientos entre sí para identificar los mejores resultados, esto se llevó a cabo por medio del programa RStudio, el cual ilustra los aspectos fundamentales para diseños estadísticos.

- Definición de las variables

Las variables de respuesta, permitieron analizar la calidad del producto generado y establecer comparaciones entre los tratamientos, para así definir el óptimo entre los evaluados. En la fase para seccionar el mejor tratamiento no se dio tanta relevancia a las variables físicas y químicas pues en esta etapa se evaluó el mejor tratamiento a partir de las variables más representativas de la norma ICA 5167.

- Modelos estadísticos utilizados

Para analizar los tratamientos con base en el comportamiento de las variables de respuesta, se optó por aplicar un diseño simple completamente al azar con sub-muestreo. El número de sub-muestreo corresponde al número de réplicas, entre mayor sea el número de sub-muestreo mejor sensibilidad tendrá en el diseño.

- Diseño simple completamente al azar

El diseño simple completamente al azar busca básicamente determinar diferencias entre tratamientos, en donde cada uno de estos es aplicado a distintas unidades experimentales. Por consiguiente en los DCA, las unidades experimentales a las que se aplican los tratamientos deben ser homogéneas, es decir que no controlan o si se deben controlar debe ser a todas las unidades y no solo a una o varias. Algunas ventajas del diseño simple completamente al azar es que es flexible, se ajusta a cualquier número de tratamientos y cada uno con igual o diferente número de repeticiones. En particular las observaciones perdidas no crean dificultades en el análisis. La principal desventaja es que exige una muestra homogénea. La cual es difícil de obtener cuando hay muchos tratamientos y/o repeticiones.

- Modelo estadístico

Validación de supuestos del DCA en la ANOVA paramétrica. Una manera de escribir el modelo es:

$$y_{ij} = \mu_i + e_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

Donde y_{ij} es la observación ij -ésima, μ_i es la media del nivel del factor o tratamiento i -ésimo, y e_{ij} es un componente del error aleatorio que incorpora todas las demás fuentes de variabilidad del experimento.

Es conveniente considerar que los errores tienen media cero, de tal modo que $E(y_{ij}) = \mu_i$, a este modelo se le llama el modelo de las medias.

Una forma alternativa de escribir un modelo de los datos es definiendo $\mu_i = \mu + \alpha_i, i=1,2,\dots,a$, de tal modo que el modelo anterior se convierte en:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

Dónde:

y_{ij} : Variable respuesta observada o medida en el i-ésimo tratamiento y la j-ésima repetición

μ : Media general de la variable respuesta

α_i : Efecto debido al i-ésimo tratamiento

e_{ij} : Error aleatorio asociado a la ij-ésima unidad experimental

○ Supuestos

1) $e_{ij} = NID(\sigma^2)$

2) Cada tratamiento define una población con distribución normal, la varianza es constante e igual para todos los tratamientos (Varianzas Homogéneas).

El anterior modelo indica que se tienen 3 tratamientos y 3 réplicas.

Para que los resultados obtenidos mediante el anterior modelo sean confiables, se deben validar los supuestos de Normalidad y Homogeneidad de varianza.

A continuación se presentara la validación de estos supuestos:

- Distribución Normal de los errores.

Para verificar el supuesto de Normalidad, se llevó a cabo la siguiente prueba:

○ Prueba de Shapiro Wilks.

Prueba de hipótesis:

$$\begin{cases} H_0 = e_{ij} \text{ se distribuye normal} \\ H_a = e_{ij} \text{ no se distribuye normal} \end{cases}$$

El estadístico de prueba: $w = \frac{b^2}{(n-1)s_c^2}$ Donde $b = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1}(X_{n-i+1} - X_i)$

La región crítica para contrastar la certeza del test viene dada por $W < W_{n,\alpha}$
Donde $W_{n,\alpha}$ es un valor de la tabla de Shapiro-Wilk correspondiente a un tamaño muestral n y a un nivel de significación α .

- Hipótesis nula y alterna de normalidad

La hipótesis que se contrasta se denomina hipótesis nula y, normalmente, se denota por H_0 . Si se rechaza la hipótesis nula es porque se asume como correcta una hipótesis complementaria que se denomina hipótesis alternativa y se denota por H_1 .

- *Homogeneidad de Varianza de los errores.*

Para verificar el supuesto de homogeneidad, se llevó a cabo la siguiente prueba:

- Prueba de Breusch-Pagan

Prueba de hipótesis:

H_0 : Existe homocedasticidad $\sigma_t^2 = \sigma^2 \forall t=1, \dots, T$

H_1 : Existe heterocedasticidad en función de Z , siendo Z un conjunto de variables exógenas.

$$\sigma_t^2 = h(Z_t') \approx \alpha_0 + \alpha_1 Z_{1t} + \dots + \alpha_p Z_{pt} + \varepsilon_t$$

De hecho se contrasta contra la hipótesis de modelo aditivo en función de las variables exógenas, pero se puede interpretar como una aproximación de primer orden a cualquier función.

- Hipótesis nula y alterna de homogeneidad

Si el valor de la z calculada excede al valor crítico de tabla, entonces se rechaza la hipótesis nula de que la distribución es normal para esas características.

- Análisis de Varianza no Paramétrico

El método de análisis más utilizado es el análisis de varianza (ANOVA), el cual procura aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0), que establece igualdad de respuesta entre todos los tratamientos considerados en el análisis. La prueba estadística utilizada provee una probabilidad estimada (P valor), el cual es el resultado de la comparación de un valor F calculado con relación a un valor F obtenido a partir de la respectiva curva de distribución de probabilidades, dados unos grados de libertad provenientes del tamaño de muestra seleccionado. Una vez realizada la prueba de hipótesis para cada variable en estudio, se procede a establecer conclusiones sobre los comportamientos de los datos obtenidos o a realizar otros análisis que permiten clarificar las conclusiones preliminares encontradas. Sin embargo, frecuentemente el ANOVA es aplicado sin considerar los supuestos estadísticos que lo sostienen, conduciendo a conclusiones erróneas sobre las variables consideradas o reduciendo la potencia del análisis como tal. Para la correcta aplicación de ANOVA se requiere el cumplimiento de cuatro supuestos estadísticos que sustentan la validez de las conclusiones de esta prueba:

- a) Respuestas normalmente distribuidas
- b) Homogeneidad de varianzas
- c) Error experimental distribuido homogéneamente.
- d) Un modelo matemático conocido

Las pruebas no paramétricas son menos potentes comparadas con las pruebas paramétricas, son más exigentes al rechazar la hipótesis nula y por tanto hay más posibilidades de cometer un error tipo II, por otro lado, la potencia aumenta con el tamaño de la muestra; de esta forma, para conseguir la misma potencia con una prueba no paramétrica, bastará con aumentar el tamaño de la muestra en una cantidad determinada. Así, la potencia de una prueba no paramétrica suele calcularse en referencia a su homóloga paramétrica.

La prueba de Kruskal-Wallis es una alternativa no paramétrica para el análisis de varianza (ANOVA), sirve para probar la hipótesis de que a muestras cuantitativas han sido obtenidas de la misma población. La única exigencia es la aleatoriedad en la extracción de las muestras, no haciendo referencia a ninguna de las otras condiciones adicionales de homocedasticidad y normalidad necesarias para la aplicación del test Paramétrico ANOVA. De este modo, este contraste es el que se debe aplicar necesariamente cuando no se cumple algunas de las condiciones

que se necesitan para aplicar dicho método. Al igual que las demás técnicas no paramétricas, ésta se apoya en el uso de los rangos asignados a las observaciones.

○ Hipótesis:

Las hipótesis a probar pueden expresarse como:

Ho: Las a poblaciones están idénticamente distribuidas

Ha: Al menos dos funciones de distribuciones son distintas

Estas se pueden plantear como:

$$\begin{aligned} H_0: F_i(x) &= F_j(x) && \text{Para } i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, a \\ H_a: F_i(x) &\neq F_j(x) && \text{Para algún } (i \neq j) \end{aligned}$$

Donde $F_i(x)$ denota la función de distribución de la i -ésima población.

Esta prueba se emplea cuando en el diseño de experimentos se tienen a muestras o tratamientos independientes.

Para un estudio de diseño experimental de la forma:

$$Y_{ij} = \theta + \alpha_j + e_{ij} \quad i = 1, \dots, a; j = 1, \dots, n$$

Se plantea la siguiente hipótesis nula:

$$H_0: a_1 = a_2 = \dots = a_a \text{ Vs. } a_i \neq a_j, \forall i \neq j$$

Si se rechaza la hipótesis nula planteada indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos (muestras).

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba está dado por la expresión:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^a \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

Donde n_i es el número de observaciones en el grupo i , N es el número total de observaciones en los a grupos, y R_i es la suma de los rangos de las n_i observaciones en el grupo i .

- PRUEBA U DE MANN-WHITNEY

Esta es una alternativa no paramétrica homologa a la prueba t , (en el diseño paramétrico) sobre diferencia de medias cuando:

- 1) No se cumplen los supuestos en los que se basa la prueba t (normalidad y homogeneidad en los errores).
- 2) No es apropiado utilizar la prueba t porque el nivel de medida de los datos es ordinal.

Se consideran dos muestras independientes: Y_1 , de tamaño n_1 , e Y_2 , de tamaño n_2 , extraídas de la misma población o de dos poblaciones idénticas. Si se mezclan las n_1+n_2+n observaciones y, como si se tratara de una sola muestra, se asignan rangos R_i a las n puntuaciones (un 1 a la más pequeña, un 2 a la más pequeña de las restantes,..., un n a la más grande; resolviendo los empates asignando el rango promedio), se tendrán n_1 rangos R_{i1} (los n_1 rangos correspondientes a las observaciones de la muestra Y_1) y n_2 rangos R_{i2} (los n_2 rangos correspondientes a las observaciones de la muestra Y_2).

Entre los múltiples estadísticos que se pueden definir en una situación como esta, los estadísticos R_1 = “suma de los rangos asignados a la muestra 1” y R_2 = “suma de los rangos asignados a la muestra 2”. El estadístico U adopta la siguiente forma en cada grupo:

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1 \quad U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2$$

Puesto que se supone que las dos muestras se han extraído de dos poblaciones idénticas, cabe esperar que U_1 y U_2 sean aproximadamente iguales (excepto en la cantidad atribuible a la variabilidad propia del azar muestral). Si U_1 y U_2 son números muy distintos, existirá cierta evidencia de que las muestras proceden de poblaciones distintas. Por tanto, la hipótesis nula de que ambos promedios poblacionales son iguales se podría rechazar si U_1 o U_2 es demasiado grande o demasiado pequeño.

Para contrastar se escoge aquella muestra con el menor rango.

Región de rechazo: Para cualquier $U_{cal} \leq U_{crit}$ rechazo H_0 .

5.6 TIPOS DE TRATAMIENTO UTILIZADOS

La caracterización de los residuos orgánicos permite definir tres (3) tratamientos, los cuales fueron sometidos a igual procedimiento de pesaje, triturado y pre-descomposición. Estos se clasifican a continuación:

5.6.1 Tratamiento 1 (T1):

En este se utilizaron los residuos orgánicos generados en la cafetería central de la Universidad del Valle, los cuales se caracterizan por tener un periodo de descomposición rápido, entre los que se encuentran por ejemplo: cascara de tomate, zanahoria y papa, entre otras. La información recolectada se detalla en el anexo 1.

5.6.2 Tratamiento 2 (T2):

En este se utilizaron los residuos orgánicos generados de la frutería, tales como: cascara de mango, banano, guanábana y papaya. La información recolectada se detalla en el anexo 2.

5.6.3 Tratamiento 3 (T3):

En este tratamiento se utilizaron los residuos recolectados tanto de la cafetería central como de la frutería, los cuales se caracterizan por tener un periodo de descomposición lento, en especial las cascara de plátano, yuca, piña y residuos de sandía. La información recolectada se detalla en el anexo 3.

Imagen 5. Tipos de residuos orgánicos



5.7 PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS UTILIZADO EN LOS TRATAMIENTOS

5.7.1 Pesaje

Para el proceso de alimentación de las lombrices se recomienda un promedio de cinco (5) a siete (7) kilogramos de residuos orgánicos para alimentar diez (10) kilogramos de lombriz. Para lo anterior, se adelantó el correspondiente pesaje de las diferentes mezclas recolectadas a utilizar en cada uno de los tres (3) tratamientos, los cuales se detallan en los anexos 1, 2, 3.

Imagen 6. Peso residuos orgánicos recolectados



5.7.2 Triturado

El proceso de trituración de los residuos orgánicos, se llevó a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, utilizando un molino de cuchillas, obteniendo medidas que oscilan entre un (1) centímetro a tres (3) centímetros, lo cual permite acelerar el proceso de descomposición de los residuos orgánicos y por ende facilitar el que las lombrices digirieran con más facilidad. Ver anexos 1, 2, 3.

Imagen 7. Molino de cuchillas

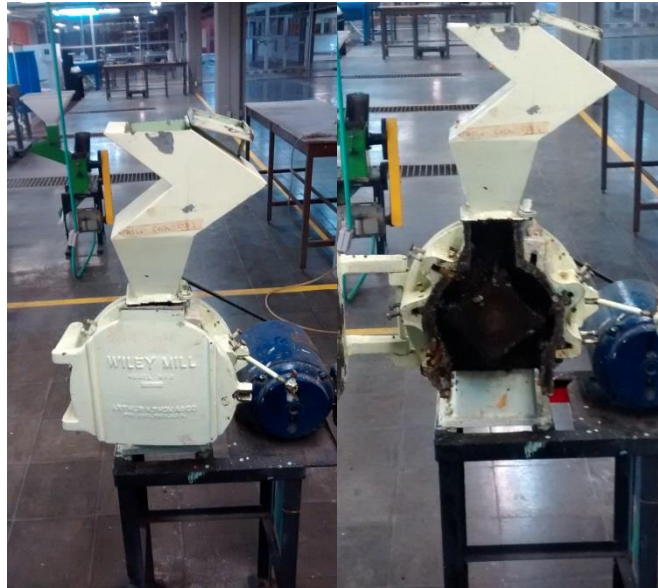


Imagen 8. Residuos orgánicos triturados



5.7.3 Pre-Descomposición

Una vez los residuos orgánicos totalmente triturados y pesados, se continuo con el proceso de pre-descomposición, consistente en adicionar medio litro de Agro-Plus a cada uno de los tratamientos, con el fin de acelerar el proceso de descomposición de estos.

Este proceso tuvo una duración de seis días (6), y se llevó a cabo en 3 cajones de madera cada uno con unas medidas de 50 centímetros de ancho, 80 centímetros de largo y 20 centímetros de alto.

Imagen 9. Pre-descomposición de residuos orgánicos



5.7.4 Alimentación de la Lombriz Roja Californiana

El proceso lombricompostaje, se inició con 30 kilogramos de cría de lombriz roja californiana, los cuales se repartieron proporcionalmente en los tres (3) módulos. Se optó por un periodo de producción de lombricompostaje de tres (3) meses, a fin de obtener una buena cantidad de abono orgánico para su análisis. (Bolaños Chacon).

Imagen 10. Alimentación



En el transcurso del proceso del lombricompostaje, se efectuó permanentemente seguimiento a cada uno de los tres (3) tratamientos, actividad paralela a la fase de campo (numeral 5.8) y al final la fase de laboratorio (numeral 5.9), tendiente a evaluar el tipo de abono o enmienda producida para cada uno de los tratamientos.

Es importante destacar que durante el proceso, se presentaron algunos inconvenientes que retrasaron un poco la elaboración de abono, entre los cuales se pueden destacar:

- a.) Factores climáticos como fuertes precipitaciones, ocasionando que los módulos se inundaran, y afectaron la producción de lombricompost. Esto se solucionó adecuando nuevamente el invernadero para prevenir la entrada de agua a los módulos.
- b.) Otro inconveniente fue la presencia de hormigas, las cuales hicieron nidos dentro uno de los módulos y se alimentaban de las lombrices. Esto se solucionó recuperando la mayor cantidad de abono y lombrices de forma manual y para erradicación fue necesario adicionar un insecticida alrededor del invernadero para prevenir la plaga de hormigas dentro de los módulos.

Imagen 11. Producto final



5.8 FASE DE CAMPO

El montaje de los tratamientos se inició de acuerdo a los tipos de tratamientos utilizados, disponibles en tres (3) camas o módulos, el cual se realizó a nivel del piso, separadas por pedazos de guadua y en el fondo del módulo se colocaron tablas a una inclinación más o menos de 20° para facilitar el drenaje de cada uno. A cada módulo se adicionaron 10 Kg de cría de lombriz y los diferentes tratamientos previamente pesados, triturados y pre-descompuestos. Los módulos fueron protegidos por un costal para impedir la entrada de luz. Durante el proceso de elaboración de Lombricompost, se llevó a cabo el control de algunas variables de seguimiento hasta culminar el mismo. Las variables que se tuvieron en cuenta en este proyecto de investigación fueron:

Tabla 4. Variables de seguimiento

PARÁMETROS	FORMA DE MEDICIÓN	PERIODO DE MEDICIÓN
TEMPERATURA	Medición de las pilas de Lombricompost por medio de termómetro	Diaria
HUMEDAD	Se tomó de forma manual por medio del método de puño	Diaria
PH	Potenciómetro	2 veces por semana
RIEGO	Con regadera	Cuando el modulo lo necesite

5.9 FASE DE LABORATORIO

En la fase de laboratorio se realizaron los análisis relacionados en la tabla 5. Se efectuaron tres replicas por tratamiento, con el fin de comparar los resultados de cada uno de estos y determinar la calidad del abono o enmienda, de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 5167 y a la Resolución 150 del 2003 (ICA).

Tabla 5. Variables de respuesta fase de evaluación

PARÁMETROS	MÉTODOS DE MEDICIÓN
CARBONO ORGÁNICO	NTC – 5167
ACTIVIDAD MICROBIANA	CAPTURA DE CO ₂ (METODO CAB)
DENSIDAD	NTC – 5167
PH	NTC – 5167
NITRÓGENO TOTAL	NTC – 5167
FOSFORO TOTAL COMO P ₂ O ₅	NTC – 5167
POTASIO TOTAL COMO K ₂ O	NTC – 5167
HUMEDAD	NTC – 5167

5.9.1 Actividad microbiana, pH, humedad, temperatura

El procedimiento de actividad microbiana, pH, humedad y temperatura, se llevaron acabo de acuerdo a metodologías a utilizar para la caracterización del suelo efectuando unos cambios en la metodología descritas en el anexo 8.

5.9.2 Carbono orgánico, densidad real, nitrógeno

El procedimiento de Carbono Orgánico, Densidad Real y Nitrógeno se llevaron acabo de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 5167. (Producción para la industria agrícola. productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo).

5.9.3 Eliminación de materia orgánica

Para determinar el contenido de Potasio y Fosforo en la muestra se tomaron las muestras como un tejido vegetal. Este consistió en tomar una cantidad de sustrato, se dejó secar a temperatura ambiente y se tamizo con ayuda de un tamiz de 2 mm (numero 10). Las muestras se llevan a una mufla, la cual se encarga de calcinar a unos 500 °C durante dos (2) horas las muestras. (IGAC, 2006). Esto sirve para eliminar la presencia de materia orgánica y, es indispensable realizarlo, ya que al tener un porcentaje de materia orgánica altera las pruebas de Fósforo y Potasio.

Imagen 12. Mufla



5.9.3.1 *Potasio*

Se pesó 5 gramos de sustrato calcinado en una balanza analítica y se le adicionaron 25 mililitros de acetato de amonio, se colocaron en un agitador orbital por 30 minutos con un reposo de 10 minutos. Se filtraron al vacío las muestras y se le adiciono 5 mililitros de acetato de amonio para volverlo a filtrar. Luego se adiciono 1 mililitro de óxido lantano al 10% y se completó con agua destilada en un balón de 250 mililitros para llevarlo al equipo de absorción atómica. Dado que la muestra se sale del rango al momento de tomar los datos, se tomó 1 mililitro de muestra y se llevó a un balón de 100 mililitros, el cual se completó con agua destilada, para llevarlo al equipo de absorción atómica.

5.9.3.2 *Fosforo*

Con la ayuda de una balanza analítica se pesó 2.85 gramos de la muestra calcinada y se le adiciono 25 mililitros de solución extractora BRAY II y se agitaron por 40 segundos, Se filtraron las muestras y se tomaron 2 mililitros del filtrado para completarlos con agua destilada en un balón de 250 ml. En un tubo colorimétrico, se utilizó 2 mililitros del extracto de la muestra, el cual se adicionaron 2 mililitros de ácido cloromolibdico, 1 mililitro de cloruro estanoso diluido y 5 ml de agua destilada, se agito por 1 minuto en un vortex, hasta que los reactivos se mezclaran, se dejaba reposar por varios minutos pero sin que se pasara de 10 minutos ya que los reactivos pierden su funciones, se llevaba al medidor espectrofotómetro el cual arrojó los valores de absorbancia.

5.10 PARÁMETROS NUTRICIONALES

De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 5167 para productos de la industria agrícola y productos orgánicos usados como abono o fertilizantes y enmiendas de suelo, se establecen los requisitos a cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo. Conforme a lo anterior, los parámetros a clasificar son:

Tabla 6. Requerimientos de calidad para abonos orgánicos de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 5167

PARÁMETRO A CARACTERIZAR	NORMAS INCONTEC NTC – 5167
CONTENIDO DE HUMEDAD	MÁXIMO 35%
CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE	MÍNIMO 15%
NITRÓGENO TOTAL	MAYOR DE 1%
P ₂ O ₅ TOTAL	MAYOR DE 1%
K ₂ O TOTAL	MAYOR DE 1%
PH	4 a 9
DENSIDAD	0,6 g/cm ₃
RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO	<20%

6 RESULTADO Y DISCUSIÓN

A continuación se discuten los resultados más relevantes del presente proyecto de investigación para cada uno de los objetivos propuestos.

6.1 Residuos provenientes de la sección de la Cafetería Central y Frutería de la Universidad del Valle.

De acuerdo a las recolecciones realizadas durante una semana aleatoria de los residuos orgánicos generados y desechados en la sección de la Cafetería Central y Frutería, se adelantó el proceso de cuantificar los residuos útiles con el objeto de ser utilizados en la elaboración de lombricompostaje, el cual se describe a continuación:

En la Frutería, se produce diariamente un promedio entre 80 y 100 kilogramos de residuos orgánicos, los cuales son recogidos indistintamente por los funcionarios de servicios generales y desechados en el lugar de acopio de las basuras del Campus Universitario. En La Cafetería Central, los residuos generados producto de la elaboración diaria de los almuerzos para la comunidad universitaria, dependen del menú y número de personas que almuerzan en los cuatro (4) comedores. Así, conforme a la información recolectada se presenta lo siguiente:

Tabla 7: Menú Restaurante Central del 2 al 6 de Febrero del 2015

DÍA	SOPA	ARROZ	CARNE	PRINCIPIO	ENSALADA	JUGO
LUNES 02	de Arroz	Blanco	Pollo al Horno	Papas a la Crema	de Lechuga	Guayaba
MARTES 03	Frijoles	Blanco	Cerdo Asado	Tajadas	Dorada	Maracuyá
MIÉRCOLES 04	Frita	Blanco	Molida	Papa al Vapor	de Repollo	Mora
JUEVES 05	de Arveja	Blanco	Chorizo de Cerdo	Arepa	Tomate Campestre	Lulo
VIERNES 06	de Pataconcitos	Blanco	Pescado	Yuca Frita	Campesina con Aderezo de Mayonesa	Naranja

Fuente: (Universidad del Valle)

Tabla 8: Residuos orgánicos generados en la Cafetería Central del 2 al 6 de Febrero de 2015

DÍAS	CANTIDAD DE RESIDUOS GENERADOS (Kg/DÍA)
LUNES 2 DE FEBRERO DEL 2015	206,5
MARTES 3 DE FEBRERO DEL 2015	120
MIÉRCOLES 4 DE FEBRERO DEL 2015	94,5
JUEVES 5 DE FEBRERO DEL 2015	310
VIERNES 6 DE FEBRERO DEL 2015	115
TOTAL RESIDUOS SEMANALES (KG/SEMANA)	846

Una vez seleccionados los residuos orgánicos, se procedió a realizar el pesaje durante una semana, lo cual arrojó un total de 846 Kg/semana, observándose que existe una variación diaria de los mismos, en razón a que en aquellos días donde más se presentan residuos orgánicos, obedece a que se adelanta la preparación de algunas verduras para el día siguiente.

Vale resaltar que los residuos orgánicos no tienen ningún manejo de reciclaje, dado que al ser desechados son mezclados con diferentes residuos, tanto orgánicos como inorgánicos y, posteriormente son depositados en la unidad técnica de residuos de la cafetería, para luego ser recolectados por la empresa prestadora de servicios públicos domiciliarios de aseo.

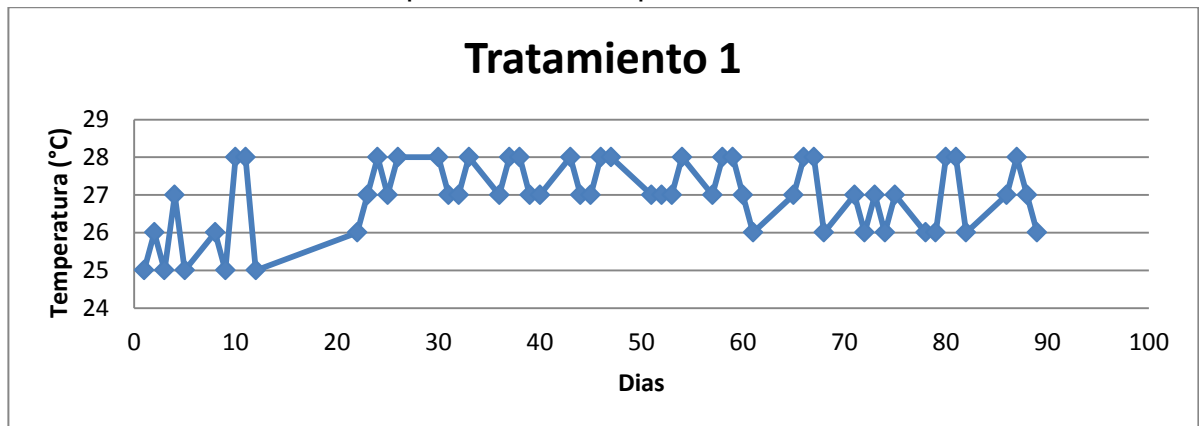
6.2 SEGUIMIENTOS VARIABLES DE CONTROL

Se consideró dada su importancia durante un periodo de tres (3) meses evaluar:

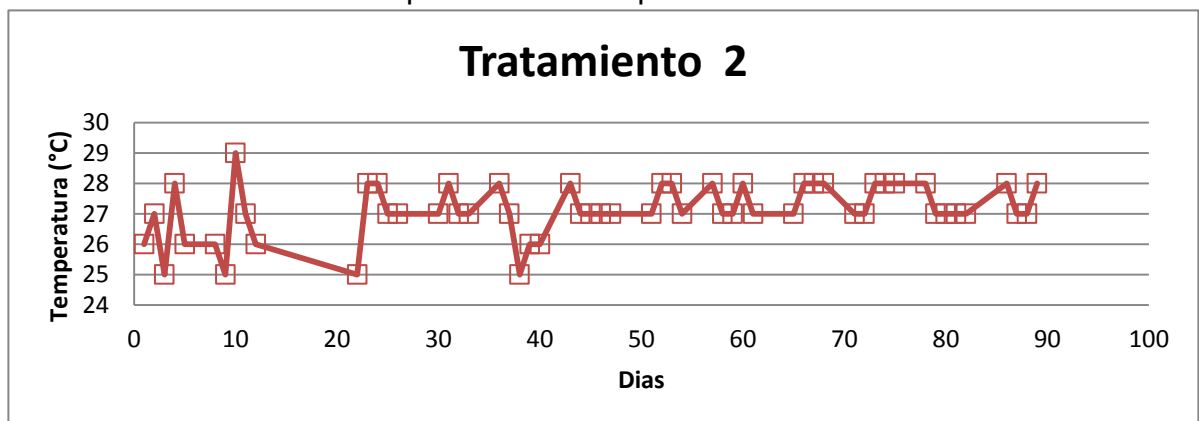
- Temperatura, en razón a que este es uno de los factores más importantes que se debe contemplar a fin de posibilitar el desarrollo ideal de la lombriz .b.) pH, el cual hace referencia a las características químicas del suelo y su control permite evitar serios problemas a la lombriz, y llegar a ocasionar su muerte. En este orden de ideas una vez efectuadas las mediciones se obtuvo lo siguiente:

6.2.1 Temperatura

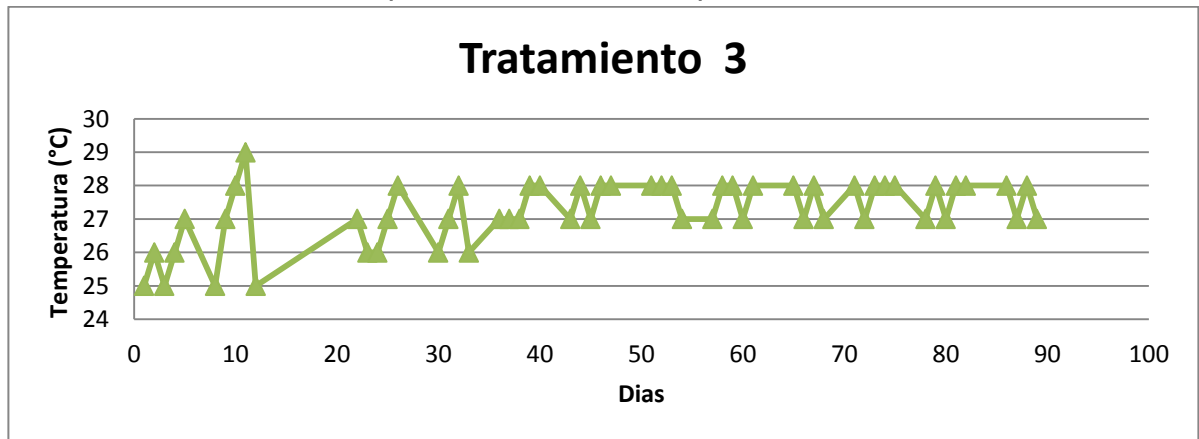
Gráfica 1. Comportamiento temperatura del tratamiento 1



Gráfica 2. Comportamiento temperatura del tratamiento 2



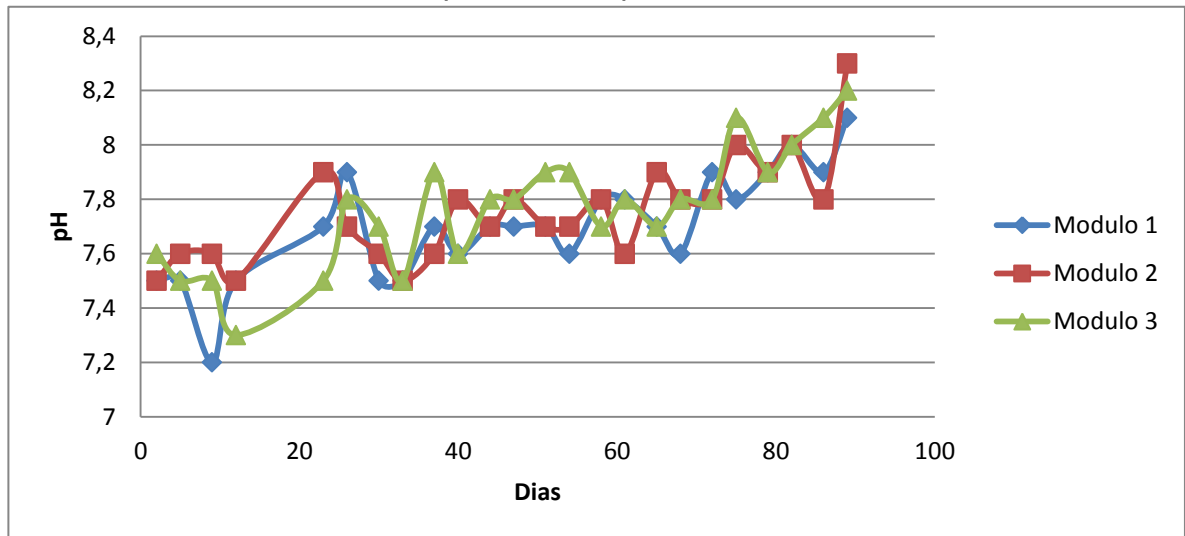
Gráfica 3. Comportamiento de la temperatura Tratamiento 3



De acuerdo a las gráficas 1, 2 y 3 se observó el comportamiento de la temperatura para los diferentes tratamientos, a lo largo del proceso de lombricompostaje, los valores se mantuvieron en un rango de 25°C a 29°C. Durante el día diez (10) hay un comportamiento particular dado a que se registró los valores más altos, esto a el incremento de temperatura dentro del invernadero y a que los módulos no contaban con buena humedad. De igual forma no hay valores superiores a 29°C esto debido a los residuos orgánicos el cual contienen gran contenido de humedad. Acercándose al día cuarenta (40) los tratamientos uno (1) y tres (3) tuvieron un comportamiento similar arrojando una temperatura de 27°C, en tanto el tratamiento dos (2) tuvo un valor de 25°C, esto valor pudo ser debido al tipo de residuo utilizado dado a que los residuos de fruta contienen mayor cantidad de agua. Del día cincuentaicinco (55) hasta el final del proceso, el tratamiento uno (1) tuvo una variación en sus valores debido a que con ocasiones entraba agua a los módulos producto de las lluvias, afectando principalmente al tratamiento uno (1), por encontrarse ubicado al lado de la puerta, por su parte, los tratamientos dos (2) y tres (3) arrojaron valores similares. Estos valores de temperatura son característicos para este tipo de elaboración de lombricompostaje, como por ejemplo los datos obtenidos por Castillo (2010), que obtuvo valores de temperatura, entre 27°C a 35°C para diferentes sustratos utilizados como estiércoles y cachaza. La información recolectada de temperatura se detalla en el anexo 4.

6.1.1 pH

Gráfica 4. Comportamiento pH de los 3 tratamientos



En La grafica 4, se presenta el comportamiento del pH durante el proceso de lombricompostaje, dando un incremento en los valores durante la fase de elaboración. Tal como expresa Castillo, (2010), normalmente en el proceso de compostaje se da una caída del pH en la fase inicial, debido a la liberación de ácidos orgánicos de la materia orgánica. Conforme el proceso de descomposición continua, estos ácidos orgánicos son descompuestos liberándose bases y altos contenidos de amoniaco que ayudan a elevar el pH. Inicialmente se tiene valores de 7.5 en los tratamientos uno (1) y dos (2) y 7.6 en el tratamiento tres (3), dando como un sustrato ligeramente alcalino y finalizando con valores de 8,1 para el tratamiento uno (1), 8.3 en el tratamiento dos (2) y 8.2 para el tratamiento tres (3). Estos valores finales de pH tienden hacer moderadamente alcalinos. La información recolectada se detalla en el anexo 5.

6.3 ANÁLISIS DE VARIABLES DE RESPUESTA

Al termino del proceso de Lombricompostaje y de acuerdo al diseño experimental, se evaluaron los tres (3) tratamientos objeto de análisis, realizando tres (3) réplicas para cada uno de ellos, para efectos de poder identificar y definir si el lombricompost es un abono orgánico o enmienda orgánica, teniendo como referencia la normatividad establecida en “La Norma Técnica Colombiana 5167 y la Resolución 150 del 2003 (ICA)”.

Tabla 9. Variables de respuesta con sub-muestra

T Y R	HUMEDAD (%)	DENSIDAD REAL (g/Cm ³)	PH	ACTIVIDAD MICROBIANA UGC-CO ₂ /GCOMPOSTSECO	CARBONO ORGÁNICO %	NITRÓGENO TOTAL %	P ₂ O ₅ (%) TOTAL	K ₂ O (%) TOTAL	C/ N %
T1-1	40,71	0,58	8,15	327,95	15,72	2,20	1,89	2,62	7,15
T1-2	44,26	0,58	8,00	393,54	13,76	2,10	3,50	2,43	6,55
T1-3	44,83	0,61	8,06	401,41	16,87	1,88	2,20	2,46	8,95
T2-1	49,99	0,75	8,34	446,11	14,25	2,26	2,35	3,29	6,29
T2-2	51,81	0,54	8,45	448,88	16,54	2,09	3,06	3,20	7,91
T2-3	45,02	0,56	8,40	471,05	9,17	2,43	2,76	3,21	3,77
T3-1	46,61	0,47	8,52	444,12	14,74	2,15	2,26	2,46	6,85
T3-2	49,65	0,48	8,47	430,82	14,25	1,94	2,45	2,50	7,35
T3-3	41,58	0,49	8,60	417,52	14,09	2,28	2,66	2,61	6,18

T y R: Tratamientos y Replicas

Teniendo como referencia lo anterior, se sacó un promedio por tratamiento y así clasificar el Lombricompost de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 5167 y definir si se obtuvo un abono orgánico o una enmienda orgánica.

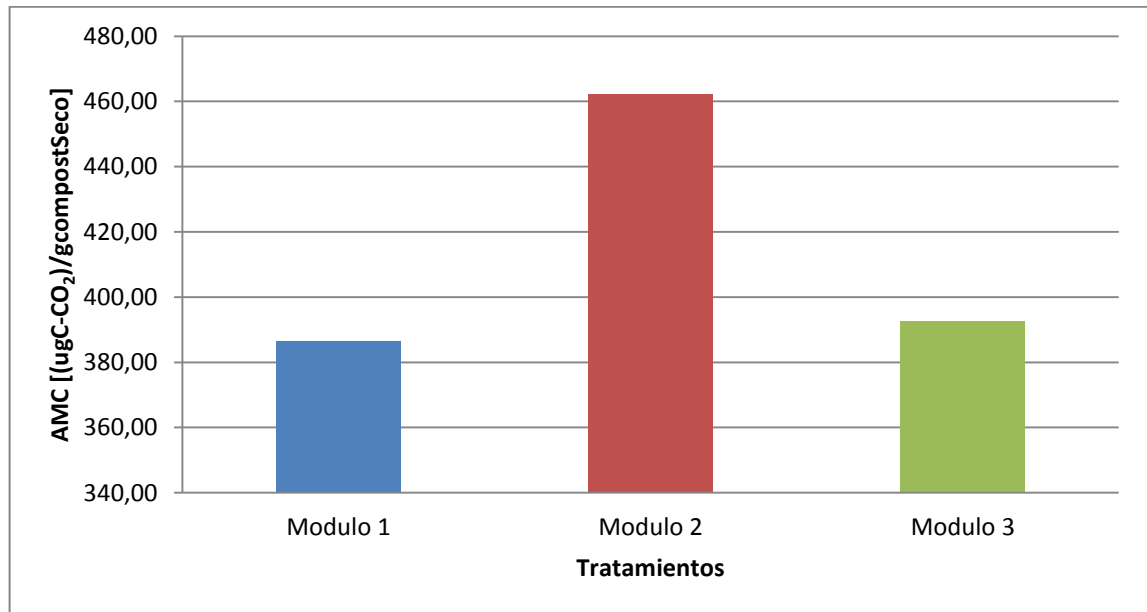
Tabla 10. Variables de respuesta

T	HUMEDAD (%)	DENSIDAD REAL (g/Cm ³)	PH	ACTIVIDAD MICROBIANA UGC-CO ₂ /GCOMPOSTSECO	CARBONO ORGÁNICO %	NITRÓGENO TOTAL %	P ₂ O ₅ (%) TOTAL	K ₂ O (%) TOTAL	C/ N %
T1	43,3	0,59	8,07	386,55	15,45	2,06	2,53	2,50	7,50
T2	48,9	0,62	8,40	462,27	13,32	2,26	2,72	3,23	5,89
T3	45,9	0,48	8,53	392,70	14,36	2,12	2,46	2,53	6,76

T: Tratamientos

6.3.1 Actividad microbiana

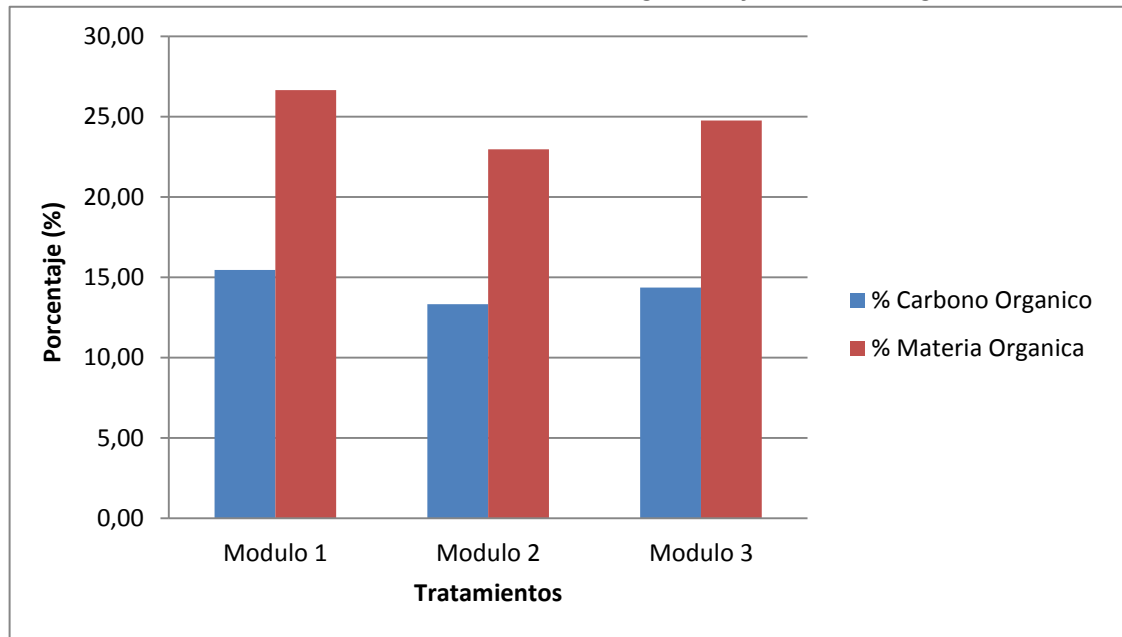
Gráfica 5. Contenido de Actividad Microbiana



Los datos presentados en la gráfica 5, precisan un alto valor de actividad microbiana, arrojando valores de 462.27 ugC-CO₂/gcompostSeco para el tratamiento dos (2), a diferencia de los tratamientos uno (1) y tres (3), los cuales se caracterizan por tener valores menores a 400 ugC-CO₂/gcompostSeco, debido a que los residuos de frutas correspondientes al segundo tratamiento, tienen una mayor cantidad de agua. Lo anterior, determina y activa la actividad microbiana del sustrato, implicando a que favorece microambientes, para el crecimiento microbiano. Los valores obtenidos tienen un elevado nivel de actividad microbiana y altos niveles de materia orgánica disponible, proporcionándole al suelo mejores condiciones físicas que influyen en la calidad del ambiente para los animales, las plantas y las raíces que viven en el suelo.

6.3.2 Carbono orgánico

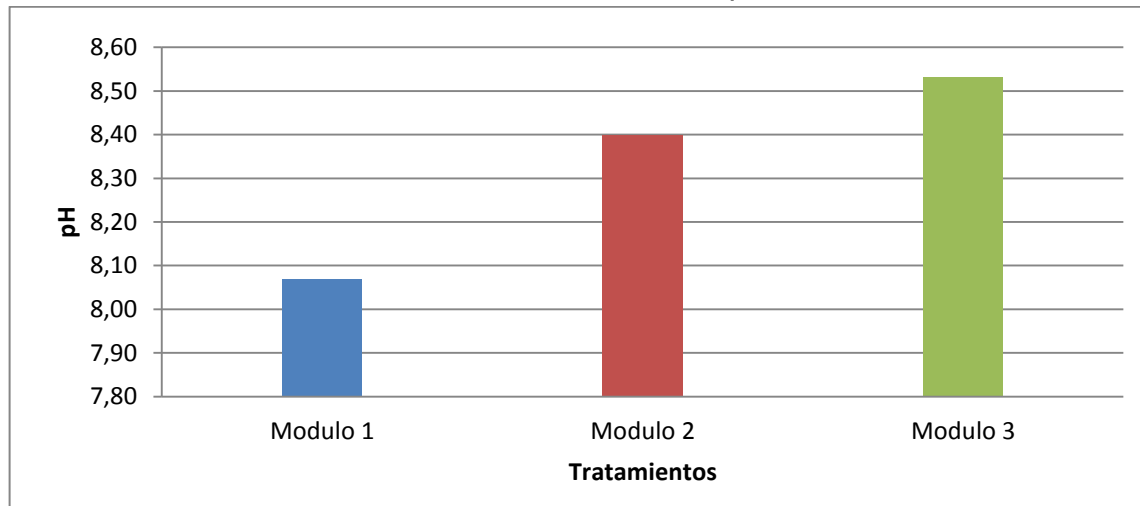
Gráfica 6. Contenido de Carbono Orgánico y Materia Orgánica



El tratamiento que presenta mayor valor de carbono orgánico es el tratamiento uno (1) con un 15,45%, mientras que los tratamientos dos (2) y tres (3) no superaron el 15%, esto debido al material vegetal utilizado y su grado de descomposición de cada mezcla. Igualmente se determinó que el tratamiento uno (1) con un valor de 15.45% de carbono orgánico, cumple con los requerimientos para carbono orgánico, especificado en la Norma Técnica Colombiana 5167 para abonos orgánicos, la cual establece un contenido de carbono orgánico oxidable mínimo es del 15%.

6.3.3 pH

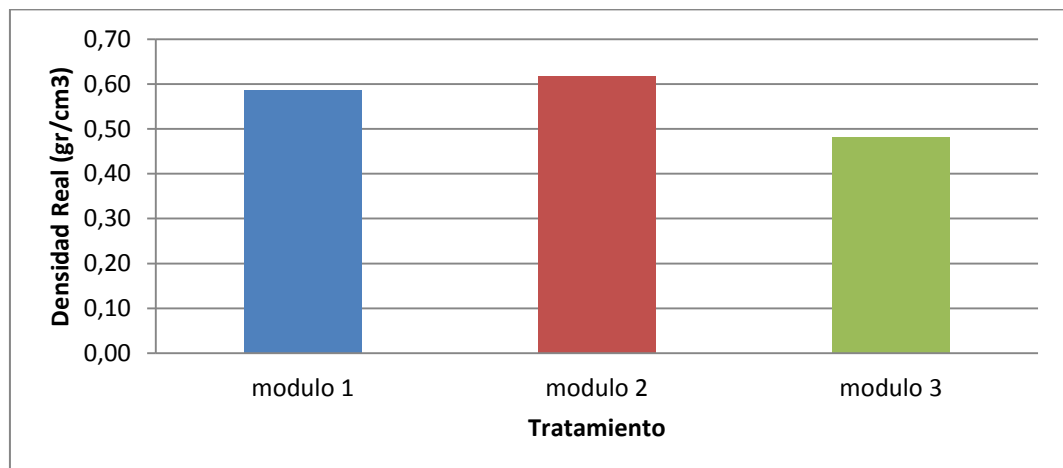
Gráfica 7. Contenido de pH



De acuerdo a la gráfica 7, los valores obtenidos, para el tratamiento dos (2) con un valor de 8.40 y tratamiento tres (3) de 8.53, presentan características moderadamente alcalina, mientras que el tratamiento uno (1) es ligeramente alcalino dado a que arrojo un valor de 8.07. De acuerdo a la norma NTC 5167 los tres (3) tratamientos cumplen con los valores establecidos el cual están entre 4 a 9 en escala de pH.

6.3.4 Densidad Real

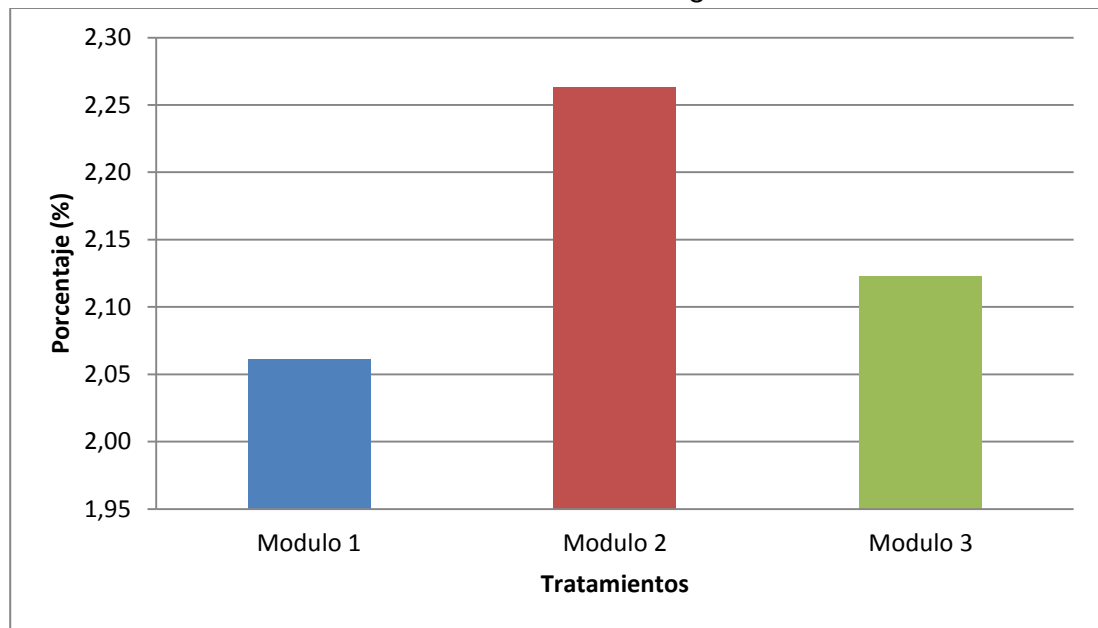
Gráfica 8. Contenido de Densidad Real



El valor máximo que rige La Norma Técnica Colombiana 5167 es de $0,60 \text{ gr/cm}^3$ para densidad real, por tanto el tratamiento uno (1) y tres (3) cumplen con los requerimientos establecidos, mientras que el tratamiento dos (2) se sale del rango con un valor de $0,62 \text{ gr/cm}^3$.

6.3.5 Nitrógeno Total

Gráfica 9. Contenido de Nitrógeno Total

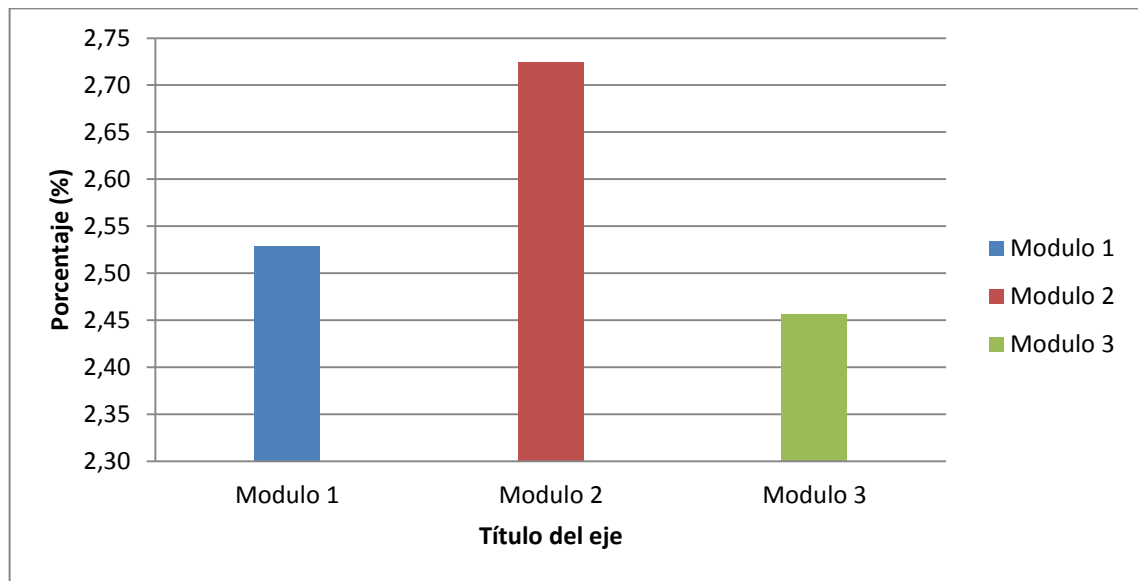


Los contenidos de nitrógeno total, fueron elevados dado a que los residuos orgánicos son ricos en N, este se libera al ritmo que se descompone la materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire. En los microorganismos la carencia de nitrógeno puede afectar el crecimiento, por lo que la población microbiana no tendrá un desarrollo óptimo. En contraste, demasiado nitrógeno permite el crecimiento microbiano rápido y acelera la descomposición. Además, el exceso de nitrógeno puede ser liberado como amoníaco; en tanto que el nitrógeno aprovechable escapará en forma de gas. (Roldan Carrillo, y otros, 2006). Los productos finales son diferentes estados de oxidación del nitrógeno dependiendo de la disponibilidad de materia orgánica, de la concentración de nitratos y del pH del sustrato. De acuerdo a la gráfica 9, El tratamiento dos (2) tuvo los valores más altos de 2.26% respecto al más bajo de 2,06% del tratamiento uno (1). Dando como cumplimiento a la Norma Técnica Colombiana 5167, los valores de

nitrógeno están dentro requerimientos establecidos por dicha norma, el cual el valor tiene que ser mayor al 1% de nitrógeno total.

6.3.6 Oxido de Fosforo Total

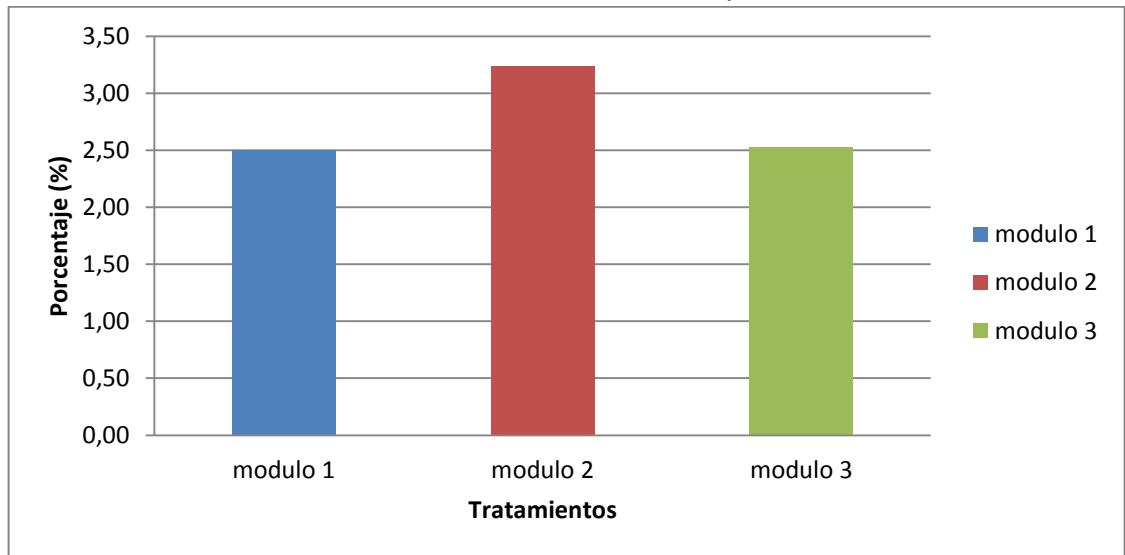
Gráfica 10. Contenido de Oxido de Fosforo Total



Los contenidos de fósforo están relacionados con el contenido de la materia orgánica, dado a la mineralización de MO, el cual libera cantidades apreciables de fósforo esenciales para el crecimiento y producción de las plantas. Esta liberación es relativamente lenta y evita fuertes pérdidas de nutrientes por lavado. (Rojas, 2015). Los análisis realizados a los tres (3) tratamientos arrojan valores de óxido de fosforo (P_2O_5) de 2.15% para el tratamiento uno (1). 2.46 para el tratamiento tres (3) y 2.72% para el tratamiento dos (2), el cual presento el contenido de P_2O_5 más alto. De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 5167, los valores de óxido de fosforo para los tres (3) tratamientos cumplen con el requerimiento de calidad el cual deben ser mayor al 1%.

6.3.7 Óxido de potasio Total

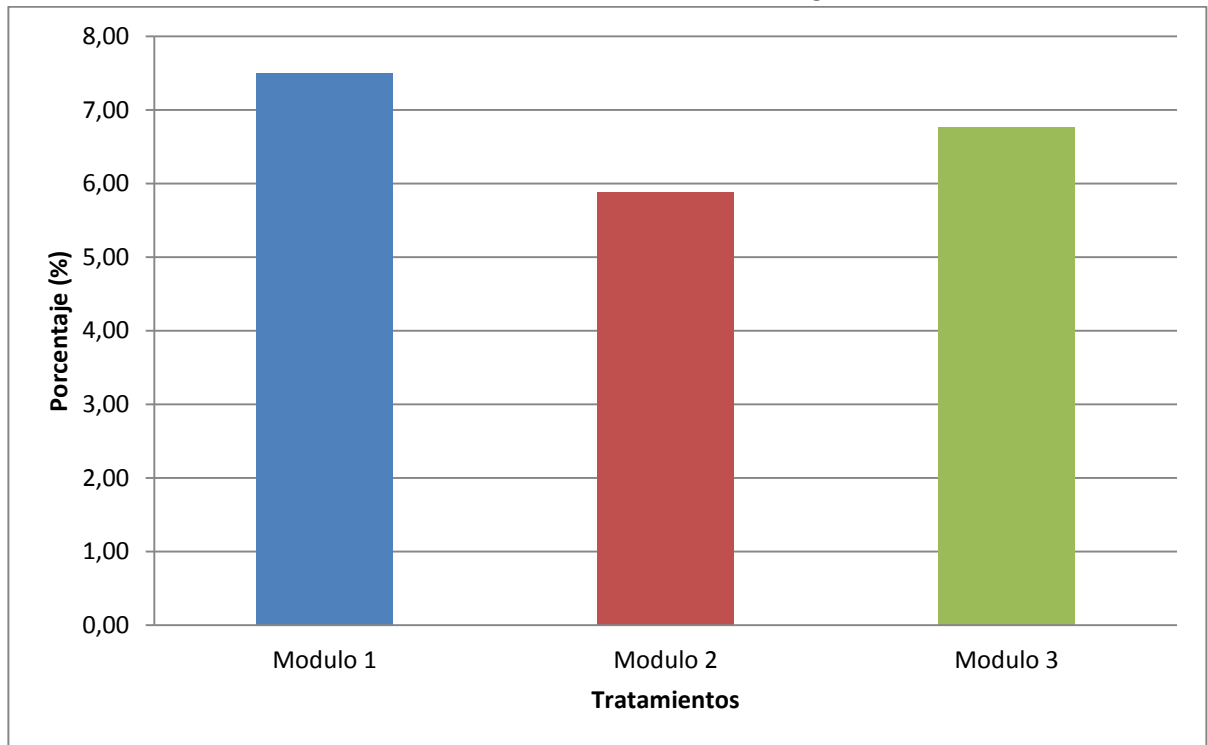
Gráfica 11. Contenido de Óxido de potasio Total



La cantidad de potasio en los suelos depende de la cantidad y tipo de minerales potásicos y condiciones ambientales durante la formación del suelo, los suelos tienen grandes cantidades de potasio pero solo un pequeño porcentaje está disponible. La tasa de liberación de K de estos minerales es influenciada por factores como el pH, temperatura, humedad, actividad microbiana. (Mikkelsen, 2014). De acuerdo a la gráfica 11, Los valores de óxido de potasio (K_2O) obtenidos, fueron en el tratamiento uno (1) de 2.50%, en el tratamiento dos (2) de 3.23% y para el tratamiento tres (3) de 2.53%. De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 5167, los valores de óxido de potasio para los tres (3) tratamientos cumplen con el requerimiento de calidad el cual deben ser mayor al 1%.

6.3.8 Relación Carbono-Nitrógeno

Gráfica 12. Relación Carbono/nitrógeno



De acuerdo a la gráfica 12, los resultados de la relación C/N, arrojaron valores de 7.5% en el tratamiento uno (1), 5.89% para el tratamiento dos (2) y el tratamiento tres (3) de 6.76%, de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 5167, cumplen con los requisitos establecidos por dicha norma el cual deben estar por debajo del 20%. Sin embargo los resultados fueron bajos, como consecuencia a que los residuos orgánicos que se están descomponiendo se enriquecen cada vez más en N y se empobrece en C, por lo que la relación C/N es baja. De manera general se considera que una relación C/N entre 10 y 15% produce una correcta liberación de nitrógeno, mientras que valores por encima o por debajo de esta cifra, provocan liberaciones muy escasas o excesivas del nitrógeno. En este punto, se puede considerar que todo el residuo orgánico ha sido descompuesto. Una parte del C y N de éste pasa a formar tejido microbiano y otra parte es mineralizada como dióxido de carbono (CO₂) y en amoníaco (NH₄⁺). (Perdomo & Barbazan).

6.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA

Tabla 11. Resultado análisis estadístico, valor p, normalidad y homogeneidad

	valor p	F	Normalidad	Homogeneidad
Humedad	0,426		0,9098	0,4664
Densidad Real	0,122		2,74E-05	0,988
pH	0,000203		0,7543	0,8015
Carbono orgánico	0,5888		0,02817	0,8148
Nitrógeno	0,68		0,5962	0,94
P205	0,871		0,9529	0,02863
K2O	0,98	174,3	0,3952	0,00002493
Relación C:N	0,551		0,34	0,7198
Actividad Microbiana	0,0317		0,3663	0,155

En la tabla 11, se resumen todos los valores de la prueba de Fisher y valores p del análisis de varianza de los tratamientos y el sub-muestreo, para todas las variables, con el fin de encontrar si hay diferencias significativas entre los tratamientos de las nueve (9) variables, se contrasta el valor p con el 5% del nivel de significancia estadístico, encontrando que solo las variables de pH y Actividad Microbiana dieron por debajo del 5% del nivel de significancia, concluyendo que los tres tratamiento tienen diferencias significativas.

Al aplicar el análisis de varianza con sub-muestreo, se encontró que no hay diferencias en todas las variables en el sub-muestreo, es decir, en todas las muestras no se presentó diferencias en los valores de manera significativa, a excepción de óxido de potasio (K_2O), que presenta un valor estadístico F de 174,3 contrastándolo con el valor crítico de la distribución F Fisher (Anexo 7) con 1 y 6 grados de libertad (13,75), resultando ser mayor por tanto el sub-muestreo es significativo. Es importante mencionar que a todas se les hizo tres muestras a cada tratamiento y a excepción de la Actividad microbiana que se le aplicaron seis muestras a cada tratamiento.

En la tabla 11 se presentan los valores p de la prueba Shapiro Wilk y Bruesch Pagan, para verificar el supuesto de normalidad y homogeneidad correspondiente, cuyos valores se deben contrastar con el 5% del nivel de significancia donde en el caso de normalidad las variables de densidad real, carbono orgánico dieron menor que el 5%, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula de las variables mencionadas, y los datos no se distribuyen normalmente, mientras que el resto de las variables se distribuye normal.

En el caso de la prueba de homogeneidad de varianza se usaran igualmente el contraste por medio del valor p, donde las variables de óxido de fosforo (P_2O_5) y óxido de potasio (K_2O) presentan un valor p menor al nivel de significancia, por tanto, no cumplen el supuesto de heterogeneidad de varianza, dado que se rechaza la hipótesis de igualdad, entonces, se aplica una transformación Box-Cox, cuyos resultados no resultan ser los más adecuados, por el tamaño de muestra tan pequeño, y por la aplicación de un solo tratamiento a un solo individuo muestreado (3 o 6 muestras).

Por otro lado, la prueba no paramétrica de kruskal Walis es mucho más flexible y adaptable para la estructura de los datos, entonces por medio del programa estadístico R se obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 12. Resultado prueba no paramétrica de kruskal Walis

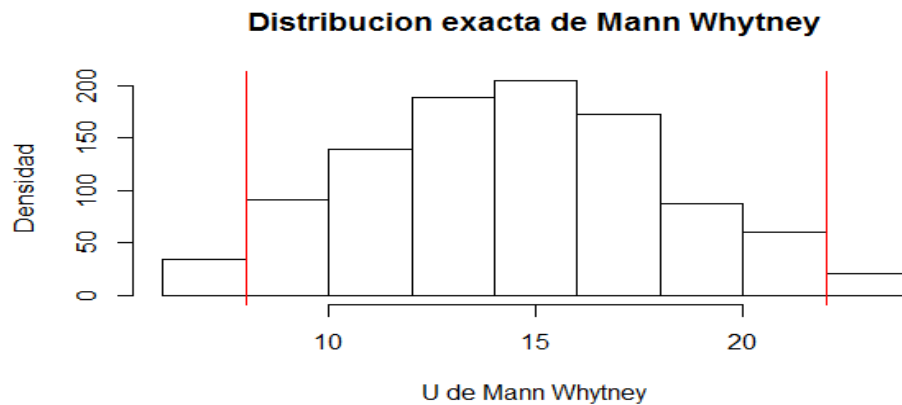
	DENSIDAD REAL	CARBONO ORGÁNICO	P_2O_5	K_2O
VALOR P	0.05939594	0.73895296	0.56114397	0.05659725

En la tabla 12, se observa que las variables tienen valores p mayor que el 5%, determinando que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, la cual asevera que al aplicarse a las cuatro variables no presenta diferencias significativas, por tanto se procede a tomar las variables correspondientes al valor p de la ANOVA.

Por otra parte, es necesario anotar conforme a lo observado en la tabla 11, que las variables pH y actividad microbiana tienen diferencias significativas en sus tratamientos, en razón a que el valor p resultó por debajo del 5% del nivel de significancia estadística, se hizo necesario aplicar la prueba no paramétrica de U de Mann Whytney de igualdad de poblaciones, lo que permite determinar cuál es el mejor tratamiento en términos de pH y actividad microbiana.

En primera instancia se debe entonces simular todas las posibles permutaciones de los comportamientos de los rangos de las dos poblaciones (mejor tratamiento Vs dos de menor desempeño), obteniendo el siguiente histograma de la distribución empírica del U de Mann Whytney:

Imagen 13. Distribución exacta de Mann Whytney



En la anterior imagen los puntos críticos son los señalados con las líneas rojas a un nivel de significancias del 5% cuyos valores son 8 y 22. Al realizar el ordenamiento de menor a mayor de los tres valores de mejor tratamiento y los 6 de peores tratamientos se tiene que la sumatoria de los rangos de los valores del mejor tratamiento en el caso de la variable pH da como resultado 24, como se observa en la imagen 13 que al contrastar con el segundo cuantil al 97,5% (22), resulta ser mayor evidenciando entonces el mejor tratamiento (pH3), residuos con un periodo de descomposición lento, es el que mejor pH presenta.

Tabla 13. Rango de valores para pH

PH	8	8,06	8,15	8,34	8,4	8,45	8,47	8,52	8,6
Rango	2	3	1	4	6	5	8	7	9

Los valores de color rojo de la tabla 13, son los que pertenecen al mejor tratamiento, que al sumar sus rangos da resultado 24, los valores de pH no presentaron grandes variaciones a consecuencia de que se tomaron muy pocas replicas, el cual no permite ver una variación significativa para los diferentes tratamientos. De acuerdo a la Distribución exacta de Mann Whytney el mejor resultado es el tres (3), el cual los valores de pH están dentro del rango establecido (4 a 9) de la Norma técnica Colombiana 5167 para abonos orgánicos. En el caso de la variable de actividad microbiana se utilizó la prueba de U de

Mann Whitney a partir de la función wilcox.test en el programa R cuyo valor p son los siguientes:

Tabla 14. Resultados de la prueba post-anova de U de Mann Whitney

Diferencias Tratamientos.		P Valor
1	2	0,1515
1	3	1
2	3	0,004329

De acuerdo a la tabla 14, existen diferencias significativas entre los tratamientos 1-2 y entre los tratamientos 2-3, los cuales hacen referencia a los resultados obtenidos teniendo un nivel de significancia del 5%, por lo tanto hay evidencia que en ambos casos la diferencia es significativamente mostrada por el tratamiento dos (2). el cual se utilizaron residuos orgánicos de solo frutas. Este presenta mejor actividad microbiana dado que los residuos orgánicos utilizados en este tratamiento presentan un alto contenido de agua la cual activa la actividad microbiana del suelo ya que proporciona la presencia de los microorganismos.

7. CONCLUSIONES

Gracias a este proyecto de investigación, puede confirmarse que el lombricompostaje como proceso de transformación de residuos orgánicos por medio de la lombriz roja Californiana para obtener compost, abono natural, es un procedimiento sencillo, fácil de realizar en cualquier lugar y, que resulta bastante benéfico, en tanto no daña el ambiente, los suelos, ni las planta y, por ende cada día adquiere reconocimiento como el composteo del futuro, ya que es un abono 100%.natural para ser utilizado como abono orgánico.

En este orden de ideas, teniendo como referencia el marco contextual en el cual se desarrolló el presente proyecto, se constató que los residuos orgánicos provenientes de la Cafetería Central y Frutería de la Universidad del Valle, constituyen una amplia gama de residuos orgánicos como cascara de frutas y verduras, los cuales de ser procesadas con la Lombriz Californiana, se transformen en un amplio potencial abono orgánico y, en un momento determinado pueda sustituir la aplicación de fertilizantes sintéticos al interior por ejemplo del campus universitario.

A partir de la cuantificación de los residuos orgánicos, se determinó que en la sección de la Cafetería Central y en la Frutería, en promedio por semana se generan 846 Kg y 450 Kg respectivamente, los cuales son mezclados indistintamente con los residuos inorgánicos, generando con ello lixiviados con alto grado de contaminación. Por otra parte, en la Cafetería Central se produce agua masa, la cual se desecha en los vertederos de aguas lluvias provocando contaminaciones de las aguas.

Lo anterior, evidencio que actualmente no se utiliza un método de reciclado en la parte de la sección de la cafetería central ni en la frutería, implicando que los residuos orgánicos no sean aprovechados y, por lo tanto se pierde el potencial de este tipo de residuos que llegan hacer beneficiosos para el ambiente.

Teniendo como referencia el análisis estadístico, se inició con el análisis de varianza ANOVA a todas las variables objeto de medición para los tres (3) tratamientos, obteniéndose como resultado que las variables densidad real y carbono orgánico, no cumplen con el supuesto de normalidad y las variables de óxido de fosforo (p_2O_5) y oxido de potasio (k_2O) no cumplen con el supuesto de homogeneidad. Se transformaron las cuatro (4) variables que no cumplieron con el supuesto de homogeneidad y normalidad por medio de la función `boxcox()` en el

programa R con un λ de 0.5, resultando que para las cuatro variables se seguía sin cumplir el supuesto de homogeneidad y normalidad, por lo tanto se procedió a aplicar la prueba *kruskal Walis*, obteniéndose que para los cuatro (4) casos no se presentan diferencias entre los tratamientos.

Las variables pH y actividad microbiana presentaron un valor menor al 5% del nivel de significancia estadístico, lo que implica una diferencia de las mismas entre los tratamientos; igualmente se aplicó U de Mann-Whitney obteniéndose que el tratamiento tres (3) en pH es diferente de los otros dos (2) tratamientos y por ende es de mejor calidad para su uso; la actividad microbiana arrojó que el tratamiento dos (2) es el mejor, por lo tanto se recomienda en aras de mejorar la actividad microbiológica del suelo.

A partir de los análisis físicos – químicos, se verificó que el tratamiento uno (1) cumplió con los rangos establecidos en la Norma Técnica Colombiana 5167, para todas las variables evaluadas. Lo cual acorde a lo establecido en la norma se clasifica como un abono orgánico.

Los tratamientos dos (2) y tres (3), no cumplieron con algunos de los requisitos establecidos en la Norma Técnica Colombiana 5167, dado que el resultado de carbono orgánico del tratamiento tres (3) es de 14,36%, por tanto no alcanzó un valor mínimo del 15%, el cual es el establecido por dicha norma. Por su parte, el tratamiento dos (2) caracterizado con valores de carbono orgánico de 13,32% y densidad real de 0,62, no cumplió con dos (2) de las variables establecidas, razón por la cual al no cumplir por lo menos con una de las variables, se rechaza el lote.

Para los tres (3) tratamientos el contenido de Nitrógeno total aumentó durante el lombricompostaje, debido al efecto de concentración provocado por la fuerte biodegradación de la Materia Orgánica, lo que disminuyó la relación Carbono: Nitrógeno.

En lo referente a la relación Carbono/Nitrógeno, mostraron un descenso generalizado durante el proceso de lombricompostaje, indicando una importante degradación de las fracciones más ricas en Carbono orgánico.

Con forme al análisis de laboratorio realizado de la actividad microbiana para cada uno de los tres (3) tratamientos definidos, se observa que los valores para el tratamiento uno (1) es 386.55 (ugC-CO₂)/gcompostSeco., para el tratamiento dos (2) es 462,27 (ugC-CO₂)/gcompostSeco, y el tratamiento tres (3) 392,70 (ugC-CO₂)/gcompostSeco, determinándose que los tres valores son altos debido a que los residuos orgánicos analizados contienen una cantidad de agua considerable que determina y activa la actividad microbial del suelo y proporciona la presencia de los microorganismos, representando una actividad biológica ideal por el contenido de suficiente materia orgánica y una población microbial alta .

La utilización de abono orgánico como fertilizante en campos de cultivo ayuda a disminuir el consumo de fertilizantes químicos y a mantener suelos productivos.

8. RECOMENDACIONES

A nivel mundial y en estos tiempos, en los cuales la tierra es degradada, es necesario optar por soluciones para el desecho de los desperdicios de la humanidad. Así, gracias a que la lombriz californiana tiene una extraordinaria capacidad de reproducción que permite recuperar en corto plazo el capital inicial invertido, vale señalar que teniendo de presente el marco de referencia del proyecto de investigación, se hace necesario aprovechar los desechos orgánicos generados en la Cafetería Central y Frutería de la Universidad del Valle (cascaras de verduras y frutas) para producir un abono orgánico de alta calidad, ya que hoy por hoy al no ser aprovechados se convierten en contaminantes.

Coherente con lo anterior, se recomienda reactivar la práctica de reciclar los residuos orgánicos para la elaboración de lombricompuesto, como una alternativa para el manejo y disposición final de los residuos orgánicos a fin de:

- Promover el aprovechamiento de residuos orgánicos generados, como una opción para el desarrollo de prácticas ecológicas en favor del medio ambiente.
- Elaborar un manual de manejo y aprovechamiento de residuos orgánicos, en el cual se describían las prácticas de aprovechamiento de los residuos orgánicos, beneficios y métodos de elaboración, ya que actualmente tal como se contactó en las etapas de recolección de los residuos para el desarrollo del presente proyecto de investigación, que no se efectúa una separación de los diferentes residuos generados.
- Diseñar, elaborar y reproducir materiales de información y campañas de difusión y promoción sobre la importancia de separar en la fuente los residuos orgánicos, entre el personal que labora en la sesión de cocina.
- Capacitar al personal seleccionado para impartir los talleres sobre el tema de los residuos sólidos y el aprovechamiento de residuos orgánicos a través del lombricompuesto.
- Construir un módulo demostrativo que sirva de apoyo para explicar el proceso de elaboración del lombricompuesto.

El impacto que pueda tener la anterior recomendación, puede variar dependiendo del tamaño que sea la granja de lombricompostaje y de los residuos que se reciclen; por ejemplo, si es establecida con todo lo que se genera diariamente, puede ser considerada como una alternativa económica y ecológica para producir en el campus universitario un bioabono a bajo costo y alta calidad, que permita ser utilizado en la jardinería de toda la universidad, como también insumo básico para practicas efectuadas en la granja experimental acorde a sus requerimientos por los estudiantes.

Compatible con lo anteriormente expuesto y, en tanto por una parte, dada la importancia que afortunadamente reviste la necesaria conciencia social sobre la gestión, utilización y reciclaje de los residuos orgánicos y por otra, acorde a los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda que al interior de la Facultad de Ingeniería Agrícola, se promueva e incentive en futuras tesis de grado el continuar con la realización de proyectos de investigación que permitan demostrar la viabilidad técnica y económica de los tipos de abonos obtenidos y su aplicabilidad en diferentes cultivos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Bohorquez, A., Puentes, Y., & Menjivar, J. C. (junio de 2014). *Evaluacion de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azucar*. Recuperado el 26 de Mayo de 2015, de Scientific electronic Library Online (SciElo) Colombia:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-87062014000100007&script=sci_arttext
- Bolaños Chacon, A. (s.f.). *Aprovechamiento de la materia organica (bovinaza) por medio de la eisenia foetida lombricultura con bovinaza*. Morales - Cauca.
- Cajas Sanchez, S. F. (2009). Efecto de la Utilizacion de Aserrin en Combinacion con Estiercol Bovino como Sustrato en la Produccion de Humus de Lombriz Eisenia foetica (Lombriz Roja Californiana). Recuperado el 23 de 01 de 2015, de
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2397/1/17T1013.pdf>
- Castillo, J. C. (2010). *Analisis de lombricompostaje a partir de diferetes sustratos*. Valledupar.
- Clean Up the World. (2008). *A limpiar el mundo Residuos Orgánicos*. Australia.
- Daza, M., Reyes, A., Ernesto, J., Urrutia, N., & Gomez, C. (2013). *Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente - EIDENAR*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2013, de
<http://eidenar.univalle.edu.co/servicios/LASA/plan%20de%20desarrollo%20laboratorio%20de%20aguas%20y%20suelos%20agricolas%20LASA.pdf>
- Decreto 835, M. d. (23 de marzo de 2005). *Corporacion autonoma regional de magdalena*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2013, de
http://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Decreto838_20050323.htm
- Diaz, E. (2002). *Guia de lombricultura. una alternativa de produccion para emprendedores y productos del agro*. La Rioja.
- Doran, J., Kettler, T., & Tsivou, M. (1997). *solvita*. Recuperado el 25 de Mayo de 2015, de Field and Laboratory Solvita Soil Test Evaluation USDA-ARS, University of Nebraska, Lincoln: http://solvita.com/pdf-files/Doran_report.pdf
- EIDENAR. (s.f.). *Universidad del Valle*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2013, de Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente - EIDENAR: <http://eidenar.univalle.edu.co/servicios/LASA/labLASA.htm>
- FAO. (23 de 10 de 2004). *Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion (FAO)*. Recuperado el 23 de 01 de 2015, de Tactologia y Practicas para Pequeños Productores Agrarios (TECA):
<http://teca.fao.org/es/read/5984#sthash.4utwWJMT.dpuf>
- Ferruzzi, C. (1986). *Manual de Olbricultura*. Madrid: mundi-prensa.
- Flores, D. (2001). Guia practica No.2 Para el aprovechamiento de los residuos solidos organicos. En D. Flores , *Guia practica No.2* (págs. 8-12). Quito, Ecuador.

- Gonzales, G., Nieto, A., Murillo, B., Ramirez, R., Villavicencio, E., Hernandez, J., y otros. (2012). *GUIA TECNICA PARA LA PRODUCCION DE LOMBRICOMPOSTA*. La Paz, Baja California Sur, México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- IGAC. (2006). *Metodos analiticos del laboratorio de suelos*. Bogota D.C: IGAC.
- Jurado, J. A., & Torres, V. M. (2013). *Estimacion del Coeficiente Multiplicador (C) de la Evapotranspiracion para un cultivo de Estevia*. Santiago de Cali.
- Labrador, J., & Guiberteau, A. (1991). *La agricultura ecologica*. Instituto nacional de reforma y desarrollo.
- Loaiza Mera, S. P., & Barcenás Rodríguez, C. A. (2008). *Evaluación Físico - Química y Biológica del Proceso de Compostaje Utilizando Algunos Residuos Orgánicos Propios de la Universidad del Valle*. Santiago de Cali, Colombia.
- Loaiza, S. P., & Barcenás, C. A. (2008). Evaluación físico - química y biológica del proceso de compostaje utilizando algunos residuos orgánicos propios de la universidad del valle. Cali, Colombia.
- Manual de lombricultura*. (s.f.). Recuperado el 5 de Noviembre de 2013, de <http://www.manualdelombricultura.com/manual/conceptos.html>
- Marín Acevedo, Cesar Augusto; Bravo, Ana Milena; Mateus, Dayana Davila; Cuadros Arana, Rodrigo Alexander; Izquierdo Ruiz, Jose Ignacio; Tabares Cataño, Mario Enrique; Velasco, Julian Gonzales;. (2007). *Memoria técnica del Proceso de Transformación de los residuos Sólidos Orgánicos en Acondicionadores, Bioabonos o Fertilizantes Orgánicos y Manual Operativo de la Planta de compostaje*. Santiago de Cali.
- Martínez, C. (1999). *Potencial de la lombricultura. Elementos básicos para su desarrollo*. México: texcoco.
- mendoza, L. (2008). *Manual de lombricultura*.
- Mikkelsen, R. (Diciembre de 2014). *Manejo del potasio para la producción de cultivos orgánicos*. Recuperado el 26 de Mayo de 2015, de International Plant nutrition institute (IPNI): [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/99E778DE1879908C852579A0006B194B/\\$FILE/Manejo%20del%20Potasio%20para%20la%20Produccion%20de%20Cultivos%20Org%20nicos.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/99E778DE1879908C852579A0006B194B/$FILE/Manejo%20del%20Potasio%20para%20la%20Produccion%20de%20Cultivos%20Org%20nicos.pdf)
- Moreno Rodríguez, A., & Bernal Jiménez, W. (2009). *Evaluación y Ajuste del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS 2004-2019*. Santiago de Cali: Alcaldía de Santiago de Cali - Departamento Administrativo de Planeación Municipal.
- NTC 5167, N. t. (2004). *Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo*. Bogotá, D.C: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- Perdomo, C., & Barbazan, M. (s.f.). *Área de suelos y aguas cátedra de fertilidad - NITROGENO*. Montevideo Uruguay.
- Pineda, J. A. (2006). *Lombricultura*. Tegucigalpa: Litografía López.
- Quiroz, H. (2000). *manual de lombricultura*. Bogotá: Unad.

- RAMOS MOSQUERA, A. L. (28 de 05 de 2011). *Biblioteca Digital Universidad de San Buenaventura*. Recuperado el 07 de 01 de 2015, de MANEJO Y DISPOSICION ADECUADA DE LOS RESIDUOS ORGANICOS:
http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/jspui/bitstream/10819/921/1/Manejo_Disposicion_Adecuada_Ramos_2011.pdf
- Rojas, C. (10 de Marzo de 2015). *instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) Ministerio de Agricultura, Chile*. Recuperado el 26 de Mayo de 2015, de Interpretacion de la disponobilidad de fosforo en los suelos de Chile:
<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33852.pdf>
- Roldan Carrillo, T. G., Rojas Avelizapa, N. G., Fernandez Linares, L. C., Ramirez Islas, M. E., Zagarra martinez, H., Hernandez , R. U., y otros. (2006). *Manual de tecnicas de analisis de suelos aplicadas a la remediacion de sitios contaminados*. Mexico D.F.
- Roman, P., Martinez, M., & Pantoja, A. (2013). *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR Experiencias en America Latina* . Santiago de Chile: FAO.
- Rugnitz Tito, M., Chacon leon, M., & Porro, R. (2009). *guia para la Determinacion de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. Lima, Peru: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF).
- Thompson, L., & troeh, F. (2002). *Los Suelos Y Su Fertilidad*. España: Reverte S.A Cuarta Edicion.
- Tortosa Muños, G. (2011). *Elaboracion a escala pre-industrial de enmiendas y abonos organicos solidos y liqidos mediante co-compostaje de orujo de oliva de dos fases o "alperujo"*. Murcia.
- Tortosa Muñoz, G. (2011). *Elaboración a escala pre-industrial de enmiendas y abonos orgánicos sólidos y líquidos mediante co-compostaje de orujo de oliva de dos fases o "Alperujo"*. Murcia.
- Trejos Arana, A. M., & Camacho Hernandez, A. (2003). *Compostaje de Bovinaza y trichantera gigantea (Nacedero) en Tres Altitudes Climaticas con Seguimientos de Temperatura, Actividad Microbiana y Analisis Microbiologicos*. Santiago de Cali.
- Universidad del Valle. (s.f.). Recuperado el 03 de Febrero de 2013, de Vicerrectoría de Bienestar Universitario (VBU):
<http://cms.univalle.edu.co/vicebienestar/restaurante/>
- USDA. (Agosto de 1999). *Natural Resources Conservation Service - United States Department of Agriculture*. Recuperado el 25 de Mayo de 2015, de Guia para la evaluacion de la calidad y salud del suelo :
http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- Yomara, M. Q. (2005). *Guia practica para el desarrollo de un negocio de lombricompost y mercados potenciales en el sur-occidente de Guatemala*. Guatemala.

10. ANEXOS

ANEXO 1: PESAJE Y TRITURADO DE RESIDUOS ORGÁNICOS TRATAMIENTO # 1

Registro Tratamiento # 1									
	Fecha (D/M/A)	Hora	Tipo Residuo Orgánico	Peso con tarro inicial (Kg)	Peso Neto Inicial (Kg)	Promedio tamaño inicial (cm)	Peso con tarro Final (Kg)	Peso Neto Final (Kg)	Promedio tamaño final (cm)
1	27/08/2014	10:45	Tomate	8	7,5	5,3	7,5	6,5	2,6
2	03/09/2014	10:40	Zanahoria	6	5,5	4,8	5,5	5	3,2
3	10/09/2014	11:03	Lechuga	5	4,5	11,4	4,5	4	3,1
4	17/09/2014	10:30	Pepino- Papa	8	7,5	10,3	7	6,5	3,1
5	24/09/2014	11:00	Cebolla	7,5	7	5,1	5	4,5	2,2
6	01/10/2014								
7	08/10/2014	10:30	Repollo- Tomate	6	5,5	7,5	5	4,5	2,5
8	15/10/2014	10:40	Zanahoria	8	7,5	9,4	7	6,5	2,7
9	22/10/2014	10:25	Tomate	8,5	8	4,9	7,5	7	2,6
10	29/10/2014	10:28	Lechuga	4,5	4	15,3	4	3,5	3,3
11	05/11/2014	10:37	Pepino- Tomate	7,5	7	6,6	6,5	6	2,4
12	12/11/2014	10:30	Papa- Zanahoria- Alverja	9	8,5	5,4	7	7,5	2,5

ANEXO 2: PESAJE Y TRITURADO DE RESIDUOS ORGÁNICOS TRATAMIENTO # 2

Registro Tratamiento # 2									
	Fecha (D/M/A)	Hora	Tipo Residuo Orgánico	Peso con tarro inicial (Kg)	Peso Neto Inicial (Kg)	Promedio tamaño inicial (cm)	Peso con tarro Final (Kg)	Peso Neto Final (Kg)	Promedio tamaño final (cm)
1	27/08/2014	10:45	Papaya- Guanábana- Banano	6	5,5	8,9	6	5.5	3,8
2	03/09/2014	10:40	Papaya	6,5	6	5,5	6.5	6	3,2
3	10/09/2014	11:03	Papaya- Banano	7	6,5	6,4	6,5	6	3,8
4	17/09/2014	10:30	Papaya	8	7,5	5,2	7	6,5	3,6
5	24/09/2014	11:00	Papaya	7,5	7	6,2	6	5,5	4,2
6	01/10/2014								
7	08/10/2014	10:30	Papaya- Mango	10	9,5	12,7	9	8,5	4,8
8	15/10/2014	10:40	Papaya- Banano	7	6,5	12,3	6	5,5	4,7
9	22/10/2014	10:25	Banano	5	4,5	7,8	4,5	4	3,8
10	29/10/2014	10:28	Papaya	4,5	4	6,6	4	3,5	3,3
11	05/11/2014	10:37	Papaya	5,5	5	7,5	4,5	4	3,9
12	12/11/2014	10:30	Papaya- Banano	5	4,5	12,0	4,5	4	4,1

ANEXO 3: PESAJE Y TRITURADO DE RESIDUOS ORGÁNICOS TRATAMIENTO # 3

Registro Tratamiento # 3									
	Fecha (D/M/A)	Hora	Tipo Residuo Orgánico	Peso con tarro inicial (Kg)	Peso Neto Inicial (Kg)	Promedio tamaño inicial (cm)	Peso con tarro Final (Kg)	Peso Neto Final (Kg)	Promedio tamaño final (cm)
1	27/08/2014	10:45	Plátano Verde	5	4.5	11,9	5	4	4,3
2	03/09/2014	10:40	Piña	5	4.5	5,3	4	3.5	2,8
3	10/09/2014	11:03	Plátano Verde	7	6,5	8,6	6,5	6	2,2
4	17/09/2014	10:30	Piña	8	7.5	4,9	6	5,5	3,0
5	24/09/2014	11:00	Yuca - Sandia	7.5	7	6,9	6,5	6	2,6
6	01/10/2014								
7	08/10/2014	10:30	Plátano Verde- Sandia	9	8.5	21,9	8,5	8	3,7
8	15/10/2014	10:40	Plátano Verde	6	5,5	17,3	6	5,5	4,7
9	22/10/2014	10:25	Plátano Verde	8	7,5	15,2	7,5	7	3,0
10	29/10/2014	10:28	Piña- Plátano Verde	8,5	8	10,5	7	6,5	3,2
11	05/11/2014	10:37	Sandia	6	5,5	8,9	5	4,5	3,1
12	12/11/2014	10:30	Plátano Verde	7,5	7	18,7	7	5,6	3,1

ANEXO 4. COMPORTAMIENTOS TEMPERATURA

TEMPERATURA				
DÍAS	FECHA (D/M/A)	TRATAMIENTO 1 (C°)	TRATAMIENTO 2 (C°)	TRATAMIENTO 3 (C°)
1	15/09/2014	25	26	25
2	16/09/2014	26	27	26
3	17/09/2014	25	25	25
4	18/09/2014	27	28	26
5	19/09/2014	25	26	27
8	22/09/2014	26	26	25
9	23/09/2014	25	25	27
10	24/09/2014	28	29	28
11	25/09/2014	28	27	29
12	26/09/2014	25	26	25
22	06/10/2014	26	25	27
23	07/10/2014	27	28	26
24	08/10/2014	28	28	26
25	09/10/2014	27	27	27
26	10/10/2014	28	27	28
30	14/10/2014	28	27	26
31	15/10/2014	27	28	27
32	16/10/2014	27	27	28
33	17/10/2014	28	27	26
36	20/10/2014	27	28	27
37	21/10/2014	28	27	27
38	22/10/2014	28	25	27
39	23/10/2014	27	26	28
40	24/10/2014	27	26	28
43	27/10/2014	28	28	27
44	28/10/2014	27	27	28
45	29/10/2014	27	27	27
46	30/10/2014	28	27	28
47	31/10/2014	28	27	28
51	04/11/2014	27	27	28
52	05/11/2014	27	28	28
53	06/11/2014	27	28	28

54	07/11/2014	28	27	27
57	10/11/2014	27	28	27
58	11/11/2014	28	27	28
59	12/11/2014	28	27	28
60	13/11/2014	27	28	27
61	14/11/2014	26	27	28
65	18/11/2014	27	27	28
66	19/11/2014	28	28	27
67	20/11/2014	28	28	28
68	21/11/2014	26	28	27
71	24/11/2014	27	27	28
72	25/11/2014	26	27	27
73	26/11/2014	27	28	28
74	27/11/2014	26	28	27
75	28/11/2014	27	28	28
78	01/12/2014	26	28	27
79	02/12/2014	26	27	28
80	03/12/2014	28	27	27
81	04/12/2014	28	27	28
82	05/12/2014	26	27	28
86	09/12/2014	27	28	28
87	10/12/2014	28	27	27
88	11/12/2014	27	27	28
89	12/12/2014	26	28	27

ANEXO 5. COMPORTAMIENTOS pH

PH				
DÍAS	FECHA (D/M/A)	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3
2	16/09/2015	7,5	7,5	7,6
5	19/09/2015	7,5	7,6	7,5
9	23/09/2015	7,2	7,6	7,5
12	26/09/2015	7,5	7,5	7,3
23	07/10/2015	7,7	7,9	7,5
26	10/10/2015	7,9	7,7	7,8
30	14/10/2015	7,5	7,6	7,7
33	17/10/2015	7,5	7,5	7,5
37	21/10/2015	7,7	7,6	7,9
40	24/10/2015	7,6	7,8	7,6
44	28/10/2015	7,7	7,7	7,8
47	31/10/2015	7,7	7,8	7,8
51	04/11/2015	7,7	7,7	7,9
54	07/11/2015	7,6	7,7	7,9
58	11/11/2015	7,8	7,8	7,7
61	14/11/2015	7,8	7,6	7,8
65	18/11/2015	7,7	7,9	7,7
68	21/11/2015	7,6	7,8	7,8
72	25/11/2015	7,9	7,8	7,8
75	28/11/2015	7,8	8	8,1
79	02/12/2015	7,9	7,9	7,9
82	05/12/2015	8	8	8
86	09/12/2015	7,9	7,8	8,1
89	12/12/2015	8,1	8,3	8,2

ANEXO 6. RESULTADO DE LAS PRUEBAS DE ESTADÍSTICA

- Contenido de Humedad**

Análisis de varianza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
T	1	10.77	10.77	0.715	0.426
Residuals	7	105.45	15.06		

Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: res

W = 0.9718, p-value = 0.9098

Homogeneidad

studentized Breusch-Pagan test

data: diseño

BP = 0.5305, df = 1, p-value = 0.4664

- Contenido densidad real**

Análisis de varianza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
T	1	0.01815	0.018150	3.098	0.122
Residuals	7	0.04101	0.005858		

Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: res

W = 0.5538, p-value = 2.744e-05

Homogeneidad

studentized Breusch-Pagan test

data: diseño

BP = 2e-04, df = 1, p-value = 0.988

- **Contenido de pH**

Análisis de varianza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
T	1	0.3174	0.3174	49.64	0.000203	***
Residuals	7	0.0448	0.0064			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: res

W = 0.9559, p-value = 0.7543

Homogeneidad

studentized Breusch-Pagan test

data: diseño

BP = 0.0632, df = 1, p-value = 0.8015

- **Contenido de carbón orgánico**

Análisis de varianza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
T	1	1.78	1.782	0.323	0.588
Residuals	7	38.66	5.522		

Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: res

W = 0.8123, p-value = 0.02817

Homogeneidad

studentized Breusch-Pagan test

data: diseño

BP = 0.0549, df = 1, p-value = 0.8148

- **Contenido de Nitrógeno**

Análisis de varianza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
T	1	0.00602	0.00602	0.186	0.68
Residuals	7	0.22694	0.03242		

Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: res

W = 0.9414, p-value = 0.5962

Homogeneidad

studentized Breusch-Pagan test

data: diseño

BP = 0.0057, df = 1, p-value = 0.94

- **Contenido de óxido de fosforo (p_2O_5)**

Análisis de varianza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
T	1	0.00038	0.000384	0.028	0.871
Residuals	7	0.09453	0.013504		

Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: res

W = 0.978, p-value = 0.9529

Homogeneidad

studentized Breusch-Pagan test

data: diseño

BP = 4.7895, df = 1, p-value = 0.02863

- **Contenido de óxido de potasio (K_2O)**

Análisis de varianza

Error: Suv

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
T	1	0.0000015	0.0000015	0.001	0.98
Residuals	1	0.0015494	0.0015494		

Error: Within

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Residuals	6	5.333e-05	8.889e-06		

Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: res1

W = 0.9035, p-value = 0.3952

Homogeneidad

F test to compare two variances

data: res and res1

F = 292.9005, num df = 1, denom df = 5, p-value = 2.493e-05

alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1

95 percent confidence interval:

29.26961 270009.71697

sample estimates:

ratio of variances

292.9005

- **Contenido de carbono / nitrógeno**

Análisis de varianza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
T	1	0.859	0.8588	0.393	0.551
Residuals	7	15.307	2.1867		

Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: res

W = 0.9133, p-value = 0.34

Homogeneidad

studentized Breusch-Pagan test

data: diseño

BP = 0.1287, df = 1, p-value = 0.7198

- Contenido actividad microbiana

Análisis de varianza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
T	1	9853	9853	7.159	0.0317 *
Residuals	7	9634	1376		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: res

W = 0.9168, p-value = 0.3663

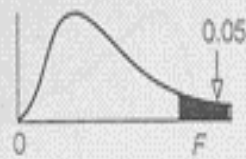
Homogeneidad

studentized Breusch-Pagan test

data: diseño

BP = 2.0227, df = 1, p-value = 0.155

ANEXO7: F DE FISHER



		Grados de libertad para el numerador															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40
Grados de libertad para el denominador	1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251
	2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5
	3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59
	4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72
	5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46
	6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77
	7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34
	8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04
	9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83
	10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66
	11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53
	12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43
	13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34
	14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27
	15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20
	16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15
	17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10
	18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06
	19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03
	20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99
	21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96
	22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94
	23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91
	24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.99	1.94	1.89
	25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87
	30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79
	40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69
	60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59
	120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50
	∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39

ANEXO 8. METODOLOGÍAS A UTILIZAR PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL ABONO

- **pH**

Consistió en sacar una muestra de lombricompost, dejarla secar al aire libre, y pasarla por un tamiz numero 10 (2mm). Posteriormente se tomó 20 g. de muestra tamizada y se le adiciono 40 mililitros de agua destilada. Se tuvo en cuenta una relación 1:2, la cual consiste que a una muestra de suelo, se le adicionará el doble de cantidad de agua destilada. Con ayuda de un agitador se revolvió por 1 minutos en periodos de 15 minutos hasta completar 1 hora, luego se llevó las muestras al potenciómetro, el cual arrojó el valor de pH de cada muestra. Anexo 5.

- **Actividad microbiana**

Se determinó la actividad microbiana por captación de CO_2 , la cual se realizó con base en el método CAB (centro de agrobiología de Brasil), haciendo unos cambios de acuerdo a las recomendaciones encontradas en el proyecto de grado de Ana María Trejos Arana y Arnul Camacho Hernández de la Universidad del Valle. Coherente con lo anterior, en un recipiente hermético de plástico se adiciono 50 gramos de la muestra de Lombricompost, se distribuyó muy bien la muestra en el fondo, paralelamente se tomó 50 gramos de muestra y, se llevó al horno por 24 horas para determinar el porcentaje de humedad. Igualmente, en un vaso de vidrio se adiciono 30 mililitros de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 0.26N, se introdujo en el recipiente y se dejó muy bien sellado. Luego se incubo por 24 horas a temperatura ambiente para que el NaOH absorbiera el CO_2 presente en la muestra; También se preparó una muestra testigo para cada tratamiento con la misma solución incubada pero sin la presencia de la muestra de compost.

Transcurrida las 24 horas de incubación, se titulaban los testigos y muestras. Se tomó el vaso conteniendo el NaOH , se adiciono 2 mililitros de cloruro de bario (BaCl_2) al 10% y de dos a cuatro (2 a 4) gotas de fenolftaleína al 1%, la muestra tomo un color morado. Se tituló con ácido clorhídrico (HCl) al 0,26N, tanto las muestras como los testigos para cuantificar el volumen de hidróxido que no reacciono con el CO_2 ; el cambio de color (blanquecino) ocurre cuando se neutraliza el hidróxido.

Por diferencia, la cantidad de CO₂ que se combina con el álcalil es determinada mediante la siguiente expresión:

$$AMC = \left[\frac{(B - T) * NHCL * 0.006}{P} \right] * 10^6$$

B = Titulación en blanco
 T = Titulación muestra de suelo
 NHCL = Normalidad del ácido
 P = Peso seco de la muestra
 FD = 0.006

- **Humedad**

Para el cálculo del porcentaje de humedad se pesó un recipiente vacío en el cual se cuantificaba la humedad, se adiciono en el recipiente 50 gramos de muestra de lombricompostaje, se meten a la estufa de secado durante 12 horas. Transcurrido el tiempo se sacó las muestras de la estufa, se dejaron enfriar y se pesó el recipiente con la muestra.

Cálculos

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso muestra humeda} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra humeda}} * 100$$

- **Método de puño**

Para medir el porcentaje de humedad en el sustrato, se aplicó la prueba conocida como “prueba de puño”, la cual consiste en agarrar una cantidad del sustrato con el puño de una mano y aplicar un poco de fuerza, lo que conlleva a que salieran entre 8 a 10 gotas. De acuerdo a Bolaños Chacon, se determinan que la humedad oscilaba en un 80 % aproximadamente. No obstante a lo anterior, en cualquier caso es mejor utilizar un medidor de humedad para obtener una mayor precisión al respecto.