

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

**EFICIENCIA DE UN ACELERADOR DE DESCOMPOSICIÓN Y *Eisenia foetida* EN LA
PRODUCCIÓN DE HUMUS DE PULPA DE CAFÉ EN CUILAPA, SANTA ROSA**
TESIS DE GRADO

EDWIN ARNULFO MUÑOZ FRANCO
CARNET 13231-07

JUTIAPA, OCTUBRE DE 2018
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

**EFICIENCIA DE UN ACELERADOR DE DESCOMPOSICIÓN Y *Eisenia foetida* EN LA
PRODUCCIÓN DE HUMUS DE PULPA DE CAFÉ EN CUILAPA, SANTA ROSA**
TESIS DE GRADO

**TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

**POR
EDWIN ARNULFO MUÑOZ FRANCO**

**PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO**

JUTIAPA, OCTUBRE DE 2018
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. ARTURO AMILCAR LEMUS CARRILLO

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. DANIELA MABEL SANDI INFANTE DE LEMUS

Guatemala 6 de noviembre 2018

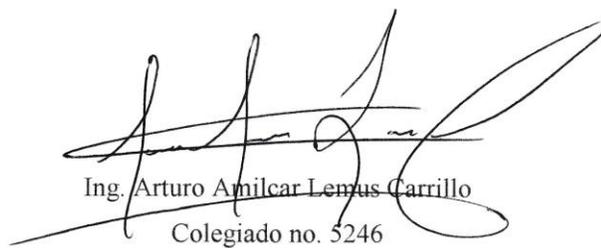
Consejo de Facultad Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Edwin Arnulfo Muñoz Franco, carné 13231-07, titulada: "Eficiencia de un acelerador de descomposición y Eisenia foetida en la producción de humus de pulpa de café en Cuilapa, Santa Rosa".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Arturo Amilcar Lemus Carrillo
Colegiado no. 5246
Cod. URL 22809



Universidad
Rafael Landívar
Tradición Jerosa en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 061049-2018

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante EDWIN ARNULFO MUÑOZ FRANCO, Carnet 13231-07 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS, de la Sede de Juliapa, que consta en el Acta No. 06200-2018 de fecha 30 de octubre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EFICIENCIA DE UN ACELERADOR DE DESCOMPOSICIÓN Y *Eisenia foetida* EN LA PRODUCCIÓN DE HUMUS DE PULPA DE CAFÉ EN CUILAPA, SANTA ROSA

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 31 días del mes de octubre del año 2018.



MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de superarme. La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación. Ing. Arturo Amílcar Lemus Carillo por su revisión y corrección de la presente investigación. A María Sofía Morales Guzmán por ayudarme a seguir adelante y creen en mí, gracias por motivarme con tu apoyo incondicional.

DEDICATORIA

A:

Dios: Quien me ha permitido estar con vida hasta este momento.

Mis padres: Edwin Muñoz Martínez y Edelmira Franco Lima a quienes amo, y doy gracias por su amor, tiempo, sus consejos y paciencia que me han brindado.

A mi hermano: Eduardo Muñoz Franco por motivarme siempre a ser una mejor persona y un mejor agrónomo.

A mi tía Dina y abuela Virginia: Por apoyarme y creer en mí siempre.

A mi Tía Ruthy: Por recibirme en los primeros años de estudio y apoyarme en salir adelante.

A familia Franco Lima: Por todo el apoyo incondicional y que me han brindado.

A mis amigos: Por todos los años y experiencias compartidas en los años de estudio. En especial a Francisco e Irvin.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1. LOS ORGANISMOS Y LAS INTERACCIONES DEL SUELO	2
2.1.1 <i>Bacterias</i>	3
2.1.2 <i>Hongos</i>	4
2.1.4 <i>Protozoos</i>	5
2.1.5 <i>Otros organismos</i>	6
2.2 PROCESOS BIOLÓGICOS DEL SUELO	8
2.2.1 <i>Fragmentación</i>	8
2.2.2 <i>Descomposición</i>	8
2.2.3 <i>Mineralización</i>	8
2.2.2 <i>Humificación</i>	9
2.3. EL HUMUS	9
2.3.1 <i>Influencias del humus en el suelo</i>	11
2.4. EL COMPOST	11
2.4.1 <i>Compostaje</i>	11
2.4.2 <i>Lombricultura</i>	13
2.6 EL CULTIVO DEL CAFÉ EN GUATEMALA	20
2.6.1 <i>Los subproductos del café</i>	21
<i>Pulpa</i>	21
<i>Mucilago</i>	21
<i>Agua miel</i>	21
<i>Cascarilla</i>	22
3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	23
4.1. OBJETIVO GENERAL	24
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
4. HIPÓTESIS	25
5.1 HIPÓTESIS ALTERNA	25
4.2 HIPÓTESIS NULA	25

5. METODOLOGÍA.....	26
6.1 LOCALIZACIÓN DEL LUGAR	26
5.2 MATERIAL EXPERIMENTAL	27
6.3 FACTORES A ESTUDIAR.....	27
6.4. DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS	27
6.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	27
6.6. MODELO ESTADÍSTICO.....	27
6.7. UNIDAD EXPERIMENTAL	28
6.8. CROQUIS DE CAMPO.....	28
6.9. MANEJO DEL EXPERIMENTO	28
6.9.1 <i>Lumbricultura</i>	28
<i>Preparación de pulpa de café</i>	28
<i>Aplicación de tratamientos</i>	28
6.10. VARIABLES DE RESPUESTA.	30
6.11. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	31
6.11.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	31
6.11.2 <i>Análisis económico</i>	31
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
7.1. CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES	32
7.1.1. <i>Potencial de hidrógeno (pH)</i>	32
7.1.2. <i>Comparación de % de nitrógeno</i>	34
7.1.3. <i>Relación Carbono nitrógeno (C/N)</i>	36
7.1.4. <i>Fósforo (P₂O₅)</i>	37
7.1.5. <i>Potasio (K²O)</i>	40
7.1.6. <i>Calcio (CaO)</i>	42
7.1.7. <i>Magnesio (Mg)</i>	43
7.1.8. <i>Azufre (S)</i>	45
7.1.9. <i>Boro (B)</i>	46
7.1.10. <i>Cobre (Cu)</i>	48
7.1.11. <i>Hierro (Fe)</i>	50
7.1.12. <i>Manganeso (Mn)</i>	52
7.1.13. <i>Zinc (Zn)</i>	54
7.1.14. <i>Carbono orgánico</i>	56

7.1.15. <i>Materia orgánica (M.O)</i>	58
7.2. PRODUCCIÓN DE HUMUS KG.....	60
7.3. TABLAS CONCILIATORIAS DE MEDIAS DE TODOS LOS TRATAMIENTOS	63
7.4. ANÁLISIS ECONÓMICO	65
7. CONCLUSIONES	68
8. RECOMENDACIONES.....	69
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
10. ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Algunas bacterias de importancia en el suelo	3
Tabla 2. Descripción de otros organismos distribuidos en el suelo que forman parte de la dinámica y desarrollo del suelo	7
Tabla 3. Sustancias húmicas contenidas en el suelo	9
Tabla 4. Fases de descomposición de la materia por las lombrices	15
Tabla 5. Procesos asociados a la descomposición de la materia por la lombriz	16
Tabla 6. Resumen de actividades principales de la lombriz roja californiana durante la descomposición de materia orgánica.....	17
En el Tabla 7 se muestran las características generales y descripción del hábitat y ciclo de vida de la lombriz roja californiana, <i>Eisenia foetida</i>	18
Tabla 8. Resumen de las características principales de la lombriz roja californiana, <i>Eisenia foetida</i>	19
Tabla 9. ANDEVA para el pH del compost generado de pulpa de café.	32
Tabla 10. Comparación de medias en la escala de puente de hidrógeno.	32
Tabla 11. Análisis de ANDEVA para nitrógeno disponible en tratamientos.....	34
Tabla 12. Comparación de medias en % de nitrógeno.	34
Tabla 13. Análisis de ANDEVA para relación Carbono/Nitrógeno	36
Tabla 14. Comparación de medias de unidades de Carbono por una molécula de nitrógeno.....	37
Tabla 15 . Análisis de varianza para el elemento fosforo.	38
Tabla 16. Comparaciones medias de % para fosforo.	38
Tabla 17. Análisis de varianza del potasio	40
Tabla 18. Comparación de medias en % para potasio.....	40
Tabla 19. Análisis de varianza para elemento Calcio	42
Tabla 20. Análisis de Varianza para Magnesio.....	43
Tabla 21. Análisis de varianza del Azufre	45
Tabla 22. Análisis de ANDEVA para el elemento boro	46
Tabla 23. Comparación de medias en ppm para boro	47
Tabla 24. Análisis de ANDEVA para el elemento cobre.....	48

Tabla 25. Comparación de medias de % para elemento cobre.....	48
Tabla 26. Análisis de ANDEVA para el elemento hierro	50
Tabla 27. Comparación de medias Tukey para hierro	50
Tabla 28. Análisis de ANDEVA para el elemento manganeso.....	52
Tabla 29. Comparación de medias en ppm para manganeso.	52
Tabla 30. Análisis de ANDEVA para el elemento zinc	54
Tabla 31. Comparación de medias de Tukey para el elemento zinc	54
Tabla 32. Análisis de ANDEVA para el carbono orgánico	56
Tabla 33. Comparación de medias de % para carbono orgánico	57
Tabla 34. Análisis de varianza para el elemento materia orgánica	58
Tabla 35. Comparación de medias en % para materia orgánica	59
Tabla 36. Análisis de varianza para la producción de humus (kg)	60
Tabla 37. Comparación de medias de Tukey para producción de Humus Kg.	61
Tabla 38. Tabla conciliatoria de las medias de los tratamientos por variable y clasificadas por Tukey.....	63
Tabla 39 Tabla conciliatorio según la clasificación de Tukey al 1% y 5%.	64
Tabla 40 Descripción de costos de producción del tratamiento Lombricompost	65
Tabla 41. Descripción de costos de producción del tratamiento BioRegen®.....	66
Tabla 42. Descripción de costos de producción del tratamiento Testigo	66
Tabla 43. Resumen de costos para producción de Humus de pulpa de café por cada seis metros cúbicos.....	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 . Procesos de conversión de materia orgánica de las lombrices.....	17
Figura 2. Localización de la investigación realizada en la finca San Nicolas, Cuilapa Santa Rosa. (Google Maps, 2017).....	26
Figura 3 Comparación sobre los Niveles de pH en los tratamientos de Humificación de pulpa de café.	33
Figura 4. Comparación de medias de % de nitrógeno en los tratamientos de humificación.	35
Figura 5. Comparación de las medias de relación Carbono/Nitrógeno de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.	37
Figura 6. Comparación de las medias en % de fosforo de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.	39
Figura 7. Comparación de las medias en % de potasio de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.	41
Figura 8. Comparación de las medias en % de calcio del Testigo sobre los demás tratamientos de humificación.....	43
Figura 9. Comparación de las medias en % de Magnesio del Testigo sobre los demás tratamientos de humificación.	44
Figura 10. . Comparación de las medias en % de Azufre de testigo sobre los demás tratamientos de humificación.	45
Figura 11: . Comparación de las medias en ppm de Boro de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.	47
Figura 12. Comparación de las medias en ppm de cobre de Testigo sobre los demás tratamientos de humificación.	49
Figura 13. . Comparación de las medias en ppm de hierro de Lombricompost sobre los demás tratamientos de humificación.	51
Figura 14. . Comparación de las medias en ppm de manganeso de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.	53
Figura 15. . Comparación de las medias en ppm de zinc de Lombricompost sobre los demás tratamientos de humificación.	55

Figura 16. . Comparación de las medias en % de carbono orgánico de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.57

Figura 17. . Comparación de las medias en % de materia orgánica de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.59

Figura 18. Comparación de las medias en kg de humus de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.61

EFICIENCIA DE UN ACELERADOR DE DESCOMPOSICIÓN Y *Eisenia foetida* EN LA PRODUCCION DE HUMUS DE PULPA DE CAFÉ EN CUILAPA, SANTA ROSA

Resumen

El presente trabajo se realizó en la aldea de San Nicolás, municipio de Cuilapa, perteneciente al departamento de Santa Rosa. El objetivo principal fue determinar que tratamiento para la degradación de pulpa de café (*Coffea arabica*) es más eficiente para obtener una materia orgánica más nutritiva y a menor costo. Se utilizó un diseño completamente al azar utilizando 2 tratamientos, un testigo y seis repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron la utilización de la *Eisenia foetida* y la utilización de un biodegradador comercial comparados con el testigo que fue una degradación aeróbica natural. Las variables que se midieron fueron la cantidad nutricional al final del proceso de degradación. Al analizar los datos finales se determinó que los tratamientos son igual de eficientes en la producción de humos con en la pulpa de café, el tratamiento de aceleración de degradación presento un nivel más alto de nutrientes nitrógeno, fósforo, potasio, cobre, hierro, manganeso y zinc.

1. INTRODUCCIÓN

La pulpa del café constituye entre el 40 y 43% del peso de los frutos maduros del café, por lo tanto, al ser dispuesta inadecuadamente, constituye foco de contaminación ambiental. Afectando fuentes de agua, aire y constituirse en nicho para plagas que afectan a las personas (ANACAFE, 2012).

Es el subproducto más voluminoso del proceso de beneficiado húmedo, su densidad aparente es de aproximadamente 250 kg/m^3 cuando está recién obtenida y suelta. Lo que quiere decir que de cada 46 kg de fruto maduro se obtienen 20 kg de pulpa, los cuales ocupan aproximadamente 7 m^3 . Es un material que se compacta rápidamente y en 24 horas su densidad se incrementa a 5 kg/m^3 (ANACAFE, 2012).

Como resultado del incremento del área de cultivo de café en los últimos años, se ha tenido el incremento de la producción de pulpa de café y aguas mieles. Lo que ha producido un resultado positivo en la economía de la nación, pero al mismo tiempo, ha provocado daños en la ecología de nuestro país. Debido a que a mayor producción mayores son los subproductos del beneficiado del grano de café (pulpa de café y aguas mieles), al momento de no ser tratados, estos pueden provocar serios daños en los acuíferos, así como en alguna población cercana a ellos.

Los organismos del suelo incluyendo los microorganismos, usan los residuos de las plantas, animales y los derivados de la materia orgánica como alimentos. A medida que descomponen la materia orgánica, los nutrientes en exceso (nitrógeno, fósforo y azufre) son liberados dentro del suelo en formas que pueden ser usadas por las plantas (FAO, 2012). Los productos de desecho producidos por los microorganismos contribuyen a la formación de la materia orgánica del suelo. La presente investigación ayudará a los caficultores a optar por utilizar nuevos métodos para el manejo adecuado de los desechos sólidos del café; y lograr un beneficio de la reutilización de la pulpa de café como humus para la fertilización de las áreas productoras o bien poder abastecer la constante demanda de los fertilizantes orgánicos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Los organismos y las interacciones del suelo

El suelo se define como un sistema natural derivado de una mezcla de minerales y restos orgánicos influenciados por el clima y el medio (Morales Guzmán, 2014). Este sistema está determinado por factores físicos, químicos y biológicos que a su vez determinan el desarrollo de la vegetación.

Los factores biológicos se refieren a aquellos que están determinados por la actividad de los microorganismos y macroorganismos del suelo, es decir, la descomposición de la materia orgánica. Los factores biológicos constituyen la parte viva del suelo y son los responsables de la dinámica de transformación y desarrollo de este. En un solo gramo de suelo, existen millones de organismos que cumplen un rol en los procesos de formación de suelo (INFOAGRO, 2012).

Los organismos del suelo incluyen una amplia variedad de microorganismos tales como bacterias, hongos, protozoarios, nematodos, virus y algas. Los macroorganismos incluyen vertebrados como los topos e invertebrados (organismos que carecen de espina dorsal y tienen un exoesqueleto). La diversidad, el tamaño de las poblaciones y sus actividades dependen de las prácticas de manejo del suelo (laboreo, controles fitosanitarios, y manejo de residuos de cosecha), cobertura, y la fertilidad del suelo (Jaramillo, 2006).

2.1.1 Bacterias.

Son organismos unicelulares con un tamaño de entre 0,5 y 50 μm . Y crecen formando células aisladas, cadenas o colonias de miles o millones de individuos, todos de la misma especie. Muchas de estas colonias producen sustancias que actúan como adhesivos que permiten que las partículas del suelo se unan. En el Tabla 1 se muestra un resumen de algunas de las bacterias de importancia en el suelo.

Tabla 1. Algunas bacterias de importancia en el suelo

Grupos de bacterias	Género	Importancia
Bacterias que degradan	<i>Pseudomonas</i> ,	Degradación de materias orgánicas
	<i>Clostridium</i>	como carbohidratos, proteínas.
	<i>Flavobacterium</i>	Producción de gas metano en anaerobiosis
Bacterias nitrificantes	<i>Micrococcus</i>	
	<i>Nitrobacter</i>	Oxidación de compuestos de N inorgánico como NH_3
Bacterias desnitrificantes	<i>Nitrosomonas</i>	
	<i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i>	Reducen nitrato y nitrito a N gaseoso (N_2) u óxido nitroso
Bacterias que fijan N_2	<i>Azotobacter</i>	Capaces de fijar N_2 atmosférico en forma libre o en simbiosis con leguminosas hasta NH_3
	<i>Clostridium Rhizobium</i>	
Bacterias sulfuro	<i>Thiobacillus</i>	Oxida sulfuro y hierro
Bacterias filamentosas de hierro	<i>Spherotillus Leptothrix</i>	Formadoras de lodos, oxidan hierro.

(Varnero, 2007).

El aspecto más importante que caracteriza a las bacterias en términos de su función en el recurso suelo es su extraordinaria variabilidad bioquímica, la cual les permite transformar todas las sustancias del suelo e introducirlas en el mundo de los vegetales. Además, realizan las tres transformaciones enzimáticas fundamentales: nitrificación, oxidación del azufre y fijación del

nitrógeno, sin las cuales la vida de las plantas superiores y de los animales no podría subsistir (Sanchez & Gloria, 2014).

2.1.2 Hongos

Aunque no son los organismos más importantes del suelo, los hongos aportan una parte significativa de la biomasa, debido a su gran tamaño. Además, son los principales agentes de descomposición en ambientes ácidos (Benintende & Sánchez, 2012).

Todos los hongos son heterótrofos y una de las principales actividades en el suelo es la degradación de moléculas complejas. Son los descomponedores de celulosa, lignina y pectina (difícil de degradar por bacterias). La importancia del hongo en el suelo es que mejora la estructura física mediante la acumulación de sus micelios en él. Además los hongos forman unos agregados que ayudan a retener agua. (Ávila Herrera, 2010). En general, los hongos son aerobios por lo que se encuentran en la capa más superficial del suelo. La actividad más importante de los hongos es la reserva de alimentos para el suelo (Sanchez & Gloria, 2014).

Los hongos descomponen la materia orgánica más resistente; el material menos resistente es descompuesto primero, mientras que el material más resistente como la lignina y las proteínas es descompuesto en varias etapas. Muchos de los productos de desechos secundarios son ácidos orgánicos; es por esto por lo que los hongos ayudan a incrementar la acumulación de materia orgánica rica en ácidos húmicos, resistentes a una degradación posterior (FAO, 2012).

2.1.3 Algas

Su abundancia en el suelo es menor que la de las bacterias, hongos y actinomicetos. A diferencia de los hongos, las algas son autótrofas. Usualmente, las algas se encuentran en la superficie o cerca de ésta ya que necesitan luz para llevar a cabo fotosíntesis. Las algas juegan un papel importante en suelos erosionados o desérticos, ya que como son fotosintéticos inician la acumulación de materia orgánica en esa área.

La principal función de las algas de hábitats terrestres es la generación de materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas a través de la fotosíntesis, incrementando la cantidad de carbono orgánico (Benintende & Sánchez, 2012).

En algunos casos, variedades de algas azul verdosas asimilan el nitrógeno atmosférico, aumentando la cantidad de nitrógeno en los suelos. Estas algas son abundantes en suelos húmedos o inundados y suelos alcalinos.

2.1.4 Protozoos

Son organismos unicelulares cuyo diámetro varía de entre 5 a 100 μm y 1 o más cm ; son abundantes y variados. Habitan en suelos húmedos y bien drenados. La mayoría son saprófitos, lo cual indica que se alimentan de sustancias solubles orgánicas e inorgánicas, o fagótrofos, es decir que se alimentan de microorganismos o partículas.

Son importantes en la cadena alimenticia, ya que su modo de nutrición es la ingestión de bacterias controlando así la población bacteriana. Esto indica que regulan el tamaño de las poblaciones microbianas; permiten que se desarrollen bacterias competidoras al ir eliminando a la población que más se desarrolla. También pueden vivir en medios libres de microorganismos, lo que indicaría que podrían intervenir en la descomposición de restos vegetales (Benintende & Sánchez, 2012).

En suelos agrícolas, los protozoos son los mayores productores del nitrógeno disponible para las plantas. Entre el 40 y el 80% del nitrógeno de las plantas proviene de la interacción depredador-presa de protozoarios con bacterias. El nitrógeno liberado por los protozoos está en forma de amonio (NH_4^+) el cual está fácilmente disponible para las raíces de las plantas y otros organismos (FAO, 2012).

2.1.5 Otros organismos

Otros organismos que forman parte de los procesos biológicos de los suelos son los nematodos, lombrices de tierra, artrópodos, moluscos, y mamíferos. En el Tabla 2 se muestra un resumen de dichos organismos y la descripción de su función en la dinámica del suelo

Tabla 2. Descripción de otros organismos distribuidos en el suelo que forman parte de la dinámica y desarrollo del suelo

Organismo	Función
Nematodos	<p>Son gusanos redondos usualmente no visibles para el ojo humano Están en abundancia en el suelo. Predominan en suelos húmedos, y orgánicos con pH neutro Se alimentan de bacterias, hongos, protozoos pueden ser parásitos. Tienen menos contenido de nitrógeno que los protozoos, bacterias y hongos.</p>
Lombrices de tierra	<p>Promueven actividad de los microorganismos mediante la fragmentación de materia orgánica Estimulan crecimiento extensivo de las raíces en el subsuelo Debido a sus acciones mecánicas y químico-biológicas se consideran agentes de formación, transformación y conservación de la fertilidad de suelos Producen humus, mejoran la estructura de la tierra cultivada.</p>
Artrópodos	<p>Se dividen en: crustáceos, arácnidos, miriópodos y colémbolos Trituran materiales orgánicos a través de una especie de predigestión de la materia orgánica que se encuentra depositada sobre el suelo.</p>
Moluscos	<p>Están principalmente representados por las babosas y los caracoles, en varias formas, tamaños y especies.</p>
Mamíferos	<p>Mamíferos de pequeño tamaño son en su gran mayoría roedores, como por ejemplo, los ratones o insectívoros Crean grandes y complejas galerías, las cuales permiten que el agua penetre al suelo, facilitando una buena aireación</p>

(FAO, 2012)

2.2 Procesos biológicos del suelo

Los procesos biológicos más importantes que tienen lugar en el suelo son:

- Fragmentación
- Descomposición
- Mineralización
- Humificación

2.2.1 Fragmentación

División progresiva en fragmentos (de ahí deriva el nombre de fragmentación). Está provocada por la meso fauna del suelo (colémbolos, ácaros, entre otros) (Porta Casanellas, Lopez Acevedo, & Poch Claret, 2014).

2.2.2 Descomposición

Se caracteriza por procesos catabólicos microbianos (exotérmicos, degradación, con desprendimiento de energía) (Porta Casanellas, Lopez Acevedo, & Poch Claret, 2014)

La descomposición depende de la actividad biológica de cada suelo. Las condiciones óptimas para la descomposición son un suelo bien aireado, rico en cationes básicos intercambiables, buena estructura y suficiente agua.

En medios ácidos y condiciones anaerobias la evolución de la materia orgánica se retarda o impide porque la actividad biológica es muy baja.

2.2.3. Mineralización

Conjunto de procesos de transformación de componentes orgánicos en compuestos minerales solubles o gaseosos de moléculas más sencillas: CO_2 , H_2O , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , entre otros por acción enzimática de microorganismos heterótrofos. La mineralización tiene lugar principalmente a través de procesos biológicos principalmente.

Porta Casanellas, López Acevedo y Poch Claret (2014), indican que existen dos tipos de mineralización: rápida y lenta. La rápida se presenta en la materia orgánica recientemente incorporada y la lenta tiene lugar a largo plazo y afecta al humus que no se acumula indefinidamente en el suelo y eventualmente se transforma en CO_2 y H_2O .

2.2.2. Humificación

Conjunto de procesos complejos, de transformación biológica o de carácter abiótico por oxidación, condensación, o polimerización que tienen lugar tras la descomposición de la materia orgánica fresca. Durante la humificación tienen lugar reorganizaciones y formaciones que dan lugar a sustancias orgánicas estables. Dichos procesos dan lugar a la formación de humus.

La humificación determina la acumulación de humus que tiene lugar más rápidamente en condiciones aerobias.

2.3. El humus

El humus o materia orgánica es el remanente de la materia orgánica que ha sido usada y transformada por varios organismos del suelo. Es un compuesto relativamente estable formado por sustancias denominadas húmicas, las cuales incluyen:

Tabla 3. Sustancias húmicas contenidas en el suelo

Sustancia húmica	Descripción	Color
Ácidos húmicos	Fracción del humus soluble en agua, excepto para condiciones de pH menor a 2	Normalmente marrón oscuro o negro
Ácidos Fúlvicos	Fracción del humus soluble en agua bajo todas las condiciones de pH.	Normalmente amarillo claro u oscuro.
Huminas	Fracción del humus insoluble en agua a ningún pH y no puede ser extraída con una base fuerte como hidróxido de sodio (NaOH).	Negro

(FAO, 2012)

En la composición del humus se encuentra un complejo de macromoléculas en estado coloidal constituido por proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, minerales, etc., en constante estado de degradación y síntesis. El humus, por tanto, abarca un conjunto de sustancias de origen muy diverso, que desarrollan un papel de importancia capital en la fertilidad, conservación y presencia de vida en los suelos.

A su vez, la descomposición del humus en mayor o menor grado produce una serie de productos coloidales que, en unión con los minerales arcillosos, originan los complejos órgano-minerales, cuya aglutinación determina la textura y estructura del suelo. Estos coloides existentes en el suelo presentan además carga negativa, hecho que les permite absorber cationes H^+ y cationes metálicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e intercambiarlos en todo momento de forma reversible; debido a este hecho, los coloides también reciben el nombre de complejo absorbente (Higueras, 2012).

Es probablemente el material que contiene carbono más ampliamente distribuido en medios terrestres y acuáticos (FAO, 2012). El humus no puede ser fácilmente descompuesto debido a sus interacciones con los minerales del suelo; además es químicamente muy complejo para poder ser utilizado por otros organismos.

Características y funciones principales del humus:

- Afecta las propiedades del suelo y su color
- Incrementa la agregación del suelo y la estabilidad de los agregados
- Aumenta la capacidad de intercambio catiónico y aporta nitrógeno, fósforo y otros nutrientes durante su lenta descomposición (FAO, 2000).
- Capacidad para interactuar con iones metálicos, óxidos, hidratos, minerales, y sustancias orgánicas.
- Favorece el crecimiento de la planta directamente mediante los efectos fisiológicos y nutricionales.
- Indirectamente, puede afectar el crecimiento de la planta mediante la modificación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Cumple una función importante en la estructura del suelo. Sin humus los suelos con altos contenidos de limo o arcilla se compactarían fácilmente al ser labrados.

2.3.1 Influencias del humus en el suelo

Los efectos que tiene el humus en el suelo son físicos, químicos y biológicos:

- Físicos: aumenta la capacidad de intercambio catiónico en el suelo, provee consistencia a suelos ligeros y compactos, mejora la estructura permitiendo un mejor drenaje y retención del agua, ya que incrementa la porosidad del suelo.
- Químicos: Mejora el intercambio de iones, la asimilación de abonos minerales ayuda a la asimilación de fosforo y potasio.
- Biológicos: Aporta microorganismos útiles al suelo, sirve a su vez de soporte y alimento de los microorganismos, mejora la resistencia a plagas y enfermedades (FAO, 2012).

2.4. El compost

Es el resultado del proceso de degradación de una mezcla de materiales orgánicos, por acción de microorganismos. Tiene la finalidad de potenciar la fertilidad natural del suelo. El objetivo de su elaboración es la reducción de compuestos orgánicos complejos para obtener de ellos compuestos sencillos, parcialmente inorgánicos, que sean asimilables gradualmente por las plantas (ANACAFE, 2012).

2.4.1. Compostaje

La producción de compost se deriva del proceso de compostaje, en el cual se descompone de manera controlada la materia orgánica. Este proceso se presenta de forma natural, sin embargo, puede acelerarse y prepararse un entorno optimizando las condiciones para que los agentes de la descomposición proliferen.

Estas condiciones incluyen una mezcla correcta de Carbono (C), Nitrógeno (N), y Oxígeno (O), así como control de la temperatura, pH y/o humedad. Si alguno de estos elementos abundase o faltase, el proceso se produciría igualmente, pero quizás de forma más lenta e incluso desagradable por la actuación de microorganismos anaerobios que producen olores (Ávila Herrera, 2010).

El compostaje es entonces el proceso biológico mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia orgánica y la degradan para obtener *compost*, que es abono orgánico utilizado para la agricultura.

2.4.1.1. Técnicas de compostaje

Las técnicas de compostaje se dividen generalmente en sistemas abiertos y sistemas cerrados.

- **Sistemas abiertos:** Se hacen al aire libre mientras que. También son conocidos como “sistemas en pilas” y se utilizan cuando hay una cantidad abundante y variada de residuos orgánicos.

- **Sistemas cerrados:** Se suele utilizar a nivel familiar. Se hacen en recipientes o bajo techo. Usualmente, se utiliza un cajón hecho de cualquier tipo de material con un volumen suficiente como para contener todos los residuos orgánicos que se producen durante al menos cuatro meses (Ávila Herrera, 2010).

Los factores que condicionan o determinan el proceso de compostaje son los siguientes:

a) **Temperatura:** Se consideran óptimas las temperaturas entre el intervalo de 35 a 55 grados centígrados.

b) **Humedad:** Los niveles óptimos de humedad son entre 40% y 50%. Dependiendo de la materia prima que se utilice, el contenido de humedad varía. Para materiales más fibrosos o residuos forestales el intervalo de humedad óptimo es del 75% al 85% y para material más ligero el intervalo oscila entre 50% y 60%.

c) **pH:** los niveles de pH influyen en la acción sobre los microorganismos. El pH óptimo para los hongos es entre 5 y 8 mientras que el pH para bacterias es entre 6 y 7.5.

d) **Relación C/N equilibrada:** se refiere a la cantidad de carbono por unidad de nitrógeno contenido en los tejidos de las plantas, la cual varía dependiendo del material a analizar (ANACAFE, 2012). La relación carbono nitrógeno es importante para la producción de compost ya que estos dos elementos son los constituyentes básicos de la materia orgánica por lo que

determinan la calidad de compost que se produce. La relación C/N óptima es de 25 a 35, aunque esto varía según el origen de la materia orgánica.

e) **Oxígeno:** es esencial en el proceso de oxidación, durante el cual, en el proceso de degradación de la materia orgánica, se libera la mayor parte del carbono en forma de gas y calor (ANACAFE, 2012). La concentración de oxígeno óptima depende del tipo de material, textura, humedad y frecuencia de volteo.

f) **Población microbiana:** La cantidad de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos determina la calidad del compost a producir.

2.4.2. Lombricultura

Una de las técnicas utilizadas para la descomposición de materia orgánica, es la lombricultura. Esta es una técnica que utiliza diferentes especies de lombrices como herramienta para descomponer la materia orgánica y obtener humus o abono orgánico. Normalmente, la fuente de materia orgánica utilizada en la lombricultura son los desechos orgánicos que, en muchos casos, representan un problema ambiental, no solo por la cantidad que se genera si no por la contaminación que estos representan (Ávila Herrera, 2010).

De esta cuenta, la lombricultura se presenta como una alternativa fácil y amigable, para el manejo ecológico de los desechos orgánicos que generalmente se disponen inadecuadamente. Los desechos orgánicos como: cáscaras de alimentos, frutas, verduras, papel y otros, se descomponen y al hacerlo se transforman en materia orgánica que alimenta a las lombrices cuyos desechos son el humus o lombricompost (conocido también como vermicompost) (Alarcón Álvarez, 2010).

Además del proceso de descomposición, algunas de las ventajas y beneficios de la lombricultura son los siguientes:

- Se puede producir proteína animal que está conformada por el cuerpo de la lombriz, la cual tiene un alto valor proteico y aminoácidos esenciales para la dieta humana y animal.
- Se puede producir el *humus líquido* que puede ser utilizado en el riego en plantaciones agrícolas y jardines
- Puede ser desarrollada prácticamente en la mayoría de los ambientes si se cuentan con las condiciones adecuadas. En campos universitarios, escuelas, instituciones públicas, fincas y casas de campo e incluso en pequeña escala en condominios, áreas urbanas y apartamentos (Alarcón Álvarez, 2010).

Los factores que condicionan o determinan el proceso de la lombricultura son:

- **Humedad:** se necesita para evitar que se reseque el cuerpo de las lombrices (éstas respiran a través de su piel) y para que ingieran más fácilmente los alimentos. Sin embargo, no debe ser en exceso, porque las lombrices se ahogarían. La humedad adecuada oscila entre el 75 y el 85%.
- **pH:** El intervalo óptimo es de 6.5 a 7.5 Si el pH es muy ácido o muy alcalino, puede matar las lombrices o disminuir su reproducción.
- **Ventilación:** Se necesita para que la lombriz reciba suficiente oxígeno. Esto se logra regulando la humedad en el sustrato y evitando su compactación al momento de colocarlo en los recipientes.
- **Temperatura:** La temperatura óptima oscila entre los 18 y 25 °C, pero puede soportar hasta 30 °C. Más allá de esa temperatura, las lombrices pueden morir (ANACAFE, 2012).

-

Actividad de la lombriz en la materia orgánica

Las lombrices promueven la actividad de los microorganismos mediante el proceso de fragmentación de la materia orgánica y el aumento del área accesible a los hongos y bacterias.

En el intestino de la lombriz ocurren procesos de fraccionamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano lo cual aumenta significativamente la velocidad de degradación y mineralización de la materia orgánica. Esta transformación conlleva a que los niveles de pérdida de nutrientes como nitrógeno, potasio, etc., sean mínimos con respecto a otros sistemas de compostaje (Clavería Cacheo, 2005).

Las lombrices de tierra modifican la biomasa microbiana y su actividad de forma directa a través de la estimulación, digestión y dispersión de los microorganismos e interaccionan con otros componentes biológicos del sistema del suelo, afectando en consecuencia a la estructura de las comunidades de la microflora y de la microfauna (Domínguez, Alira, & Gómez-Brandón, 2009).

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.4. Fases de descomposición de la materia por las lombrices

Fase activa o directa	Fase de maduración o indirecta
Las lombrices procesan la materia orgánica, modificando sus propiedades físicas y su composición microbiana	Los microbios asumen el control de la descomposición del material previamente procesado por las lombrices.

(Domínguez, Alira, & Gómez-Brandón, 2009).

La duración de la fase activa no es fija, y depende de la especie y de la densidad de lombrices, así como de sus tasas de ingestión y procesamiento de materia orgánica (Domínguez, Alira, & Gómez-Brandón, 2009).

Domínguez, Alira, & Gómez-Brandón (2009) describen el proceso de la descomposición de la materia orgánica en la lombriz como se muestra en el Tabla

Tabla 5. Procesos asociados a la descomposición de la materia por la lombriz

Proceso	Descripción
Procesos asociados al paso en sus intestinos (PAIs):	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del tamaño de partícula tras el paso por la molleja, la adición de azúcares y otras sustancias • La modificación de actividad y de diversidad microbiana, • Modificación de poblaciones de microfauna • Homogeneización del sustrato y los procesos de digestión y asimilación; • Producción de moco y sustancias excretoras como la urea y el amonio, que constituyen una fuente de nutrientes fácilmente asimilables para los microorganismos. • La descomposición se ve también favorecida por la acción de microorganismos en el intestino de las lombrices. Estos producen enzimas extracelulares que degradan celulosa y distintos compuestos fenólicos, aumentando la degradación del material ingerido.
Procesos asociados a las deyecciones (excretas)(PADs)	Relacionados con procesos de envejecimiento, con la acción de la microflora y microfauna presente en el sustrato y con la modificación física de los materiales excretados

(Domínguez, Alira, & Gómez-Brandón, 2009).

En la Figura 1 se muestra una ilustración de los procesos que se presentan durante la descomposición de la materia orgánica.



Figura 1 . Procesos de conversión de materia orgánica de las lombrices.

La actividad de las lombrices acelera la descomposición de la materia orgánica, incrementando la tasa de transformación de nutrientes, y promoviendo la agregación del suelo y la porosidad, aumenta la infiltración de agua y el transporte de solutos. (Ríos, 2010). En la

Tabla 6. Resumen de actividades principales de la lombriz roja californiana durante la descomposición de materia orgánica

Actividades principales		
Entregan nutrientes al descomponer la materia orgánica dejando disponible nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K)	Aumentan la capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Movilizan nutrientes desde la superficie del suelo hacia estratos inferiores
Neutralizan suelos ácidos	Mejoran drenaje en suelos donde se necesite	Aumentan cantidad de Materia orgánica en el suelo

(Aburto, 2001).

La lombriz roja californiana, *Eisenia foetida*

Las especies de lombrices más frecuentes utilizadas en la lombricultura son *Eudrilus eufenia*, *Lobricus robelus*, y *Eisenia foetida* (coqueta roja). Esta última es la más común y la que en mejor forma ha respondido a todas las aplicaciones para la cual se ha utilizado y es por eso por lo que en el 80 % de los criaderos del mundo se encuentran presentes. (Pineda, 2006). *La Eisenia foetida* es conocida como “lombriz roja californiana”. Vive en cautiverio hasta 14 o 15 años, y es un animal hermafrodita insuficiente, es decir que a pesar de poseer ambos sexos es incapaz de auto fecundarse y necesita a un congénere para reproducirse. (Bollo, 2003). Ha llegado a ser la que más se adapta para la producción de humus debido a que es prolífica, es decir, que es una especie con tasas altas de reproducción. Una lombriz genera 16 congéneres en un año. Además, es voraz, y tiene un amplio rango alimentario lo cual beneficia al momento de la producción de humus (Bollo, 2003).

La lombriz *Eisenia foetida* posee la siguiente clasificación taxonómica:

- **Reino:** Animalia
 - **Phylum**
 - **:** Anélidos
 - **Clase:** Cliteladas
 - **Orden:** Oligoquetas
 - **Familia:** Lumbricidae
 - **Género:** Eisenia
 - **Especie:** *Eisenia foetida*

En el

Tabla 7 se muestran las características generales y descripción del hábitat y ciclo de vida de la lombriz roja californiana, *Eisenia foetida*.

Tabla 7. Características de la lombriz *Eisenia foetida*.

Características	Descripción
Características generales	Es de color rojo oscuro Respira por medio de su piel Mide entre 6 y 8 cm de largo, aunque en algunos casos pueden llegar a medir hasta 12 cm de largo No soporta la luz solar Viven aproximadamente 4.5 años y llegan a producir 1,300 lombrices al año
Hábitat	Habita en los primeros 50 cm del suelo en ambientes donde no llega la luz solar. Temperatura optima : 22°C Son hermafroditas No se auto fecundan
Ciclo de vida	La reproducción ocurre cada 7 o 10 días desde los 3 meses de edad cuando alcanza la madurez sexual El periodo de incubación de los huevos es de 14 a 21 días.

(Aburto, 2001).

Tabla 7. Resumen de las características principales de la lombriz roja californiana, *Eisenia foetida*.

Lombriz roja Californiana
Se reproduce rápidamente
Abono de alta calidad
Promedio de vida 16 años
Frecuencia de apareamiento 7 días
N* nacidos 2-21
Lombrices/ año a partir de una 1500
Carne succulenta blanda humedad 82,5%
Profundidad 30 a 100 cm
Densidad Individuos/m ² 50,000

(Aburto, 2001)

2.6 El cultivo del café en Guatemala

El cultivo del café ha sido parte importante de la historia y la economía de Guatemala y ha logrado ser por muchos años uno de los pilares de la actividad agrícola en el país impulsando su desarrollo, lo que lo convierte en una fuente importante de empleos e ingresos económicos. Según la Asociación Nacional del Café, ANACAFE, el área empleada para la producción de café a nivel nacional se ha mantenido alrededor de las 252,000 hectáreas en los últimos años.

El proceso de producción del café conlleva la generación de residuos y subproductos dentro de los cuales se encuentran la pulpa, el mucílago, el aguamiel, y la cascarilla. Estos constituyen una fuente de contaminación y problemas ambientales que, si no son manejados adecuadamente, afectan el suelo y el recurso hídrico.

La pulpa es uno de los residuos más abundantes en la producción de café. Esta se obtiene por el proceso de despulpado en donde el fruto maduro del café es sometido a la eliminación de la pulpa (epicarpio). Actualmente, esta operación se efectúa mediante máquinas despulpadoras que aprovechan la cualidad lubricante del mucílago del fruto, para que por presión se separen los granos y la pulpa.

La pulpa es el subproducto más voluminoso representando el 56% del volumen del fruto y el 40 % del peso. Al despulpar 45.46 kg de fruto maduro (100 L) se obtienen aproximadamente 27.27 kg (60 L) de café pergamino despulpado y 18.18 kg (40 L) de pulpa ANACAFE, (2012).

Una de las ventajas es que la mayoría de los caficultores la utilizan como abono orgánico luego de pasar por un proceso de compostaje mediante lombrices o microorganismos ANACAFE, (2012).

2.6.1. Los subproductos del café

Pulpa

La pulpa es el subproducto más voluminoso y fruto y el 40% del peso. En Guatemala, muchos caficultores la utilizan como abono orgánico o en forma de compostaje o bien como lombricompost (ANACAFE, 2012).

Mucilago

Es un hidrogel (sistema coloidal líquido liofílico) y representa entre el 20 y el 22% del peso del fruto. Conformar una importante proporción de la carga orgánica de los residuos del café debido a su alto contenido de azúcares, pectinas y ácidos orgánicos (ANACAFE, 2012).

Agua miel

Es el agua utilizada para despulpar y lavar durante la producción de café. Esta se convierte en residual al finaliza el proceso y se le conoce como agua miel. Su naturaleza química está relacionada con la composición fisicoquímica de la pulpa y el mucílago, debido a que estos proporcionan partículas y componentes durante el contacto con el agua en el proceso de producción de café.

Cuando las aguas mieles son sometidas al procesamiento en los sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales, se logra separar, por un lado, el agua clarificada y por otro los lodos orgánicos; estos son un buen aporte de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio etc.; se pueden mezclar con la pulpa para hacer un compost.

En cuanto a este residuo líquido, las aguas del despulpado y de lavado, que son las que arrastran la principal proporción de mucílago suelto o fermentado, requieren más atención para realizarles el proceso en las Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR), para así aprovechar para abono los lodos de origen orgánico en estado semi secos (creados) y también las aguas clarificadas y neutralizadas, previo análisis por el laboratorio, para riegos de pastos e inclusive plantaciones de café adulto, de lo contrario verterlas a afluentes con mínima carga orgánica (ANACAFE, 2012).

Cascarilla

El pergamino suelto es un subproducto que representa alrededor del 4.5 o 5% del peso del fruto del café; no representa riesgo contaminante en el beneficio húmedo y es un valioso material que puede utilizarse como combustible sólido en el secamiento mecánico del café. Genera aproximadamente 4,000 kilocalorías por kilogramo (ANACAFE, 2012).

3. Definición del problema y justificación del trabajo

En la actualidad un problema relevante en Guatemala es el manejo de desechos sólidos derivado de diferentes procesos de producción, prácticas agrícolas y otras actividades económicas. Según el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente IARNA (2006), la tendencia de producción o generación total de residuos es por la economía del país que tuvo un incremento sostenido de más del 70% en el período del 2001-2006. Esto indica que la producción de residuos sólidos a nivel nacional tiende a crecer constantemente. Particularmente el departamento de Santa Rosa, donde se ha realizado esta investigación, se encuentra dentro de los departamentos con mayor generación de desechos (IARNA, 2006).

Los residuos y subproductos que se generan en el proceso de producción de café son: la pulpa, mucílago, aguas mieles y cascarilla (ANACAFE, 2012). De estos, la pulpa es el de mayor poder contaminante debido a su alta demanda bioquímica de oxígeno y por su rápida fermentación lo cual hace muy difícil su disposición final. A nivel nacional, se calcula que, de la producción anual total de café, se generan aproximadamente 146 millones de kilogramos de pulpa como residuo (Robles, 2013).

De acuerdo con la información de ANACAFE 2012 y Robles 2013 la problemática a nivel nacional de los desechos de fruto de café, especialmente la pulpa, está agravando año con año debido al incremento de la demanda del producto final de este cultivo; por lo tanto, la tendencia es el incremento de las áreas de producción, por ende, en los próximos años se obtendrá un incremento en la producción. Esto provocara serios daños en los ríos y lagos aledaños a las áreas de producción, debido a que un gran porcentaje de los desechos sólidos que se obtiene de este proceso se deposita en los afluentes que alimenta los benéficos de café. Lo serio es que estos desechos, especialmente la pulpa demanda grandes cantidades de oxígeno en su proceso de descomposición y este lo toma del agua donde se ha depositado lo que causa serios daños a la fauna y la flora de los afluentes donde se depositan estos desechos.

Por tal razón, se propone esta investigación con el objetivo de determinar el método con mayor eficiencia en la descomposición de la pulpa de café, y al mismo tiempo, aprovechar el producto final de este proceso como fertilizante orgánico en el mismo cultivo, o en cultivo de hortaliza de las regiones cercanas a las zonas productoras de cultivo de café.

OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar dos métodos de humificación de pulpa de café sobre la ejecución, calidad y tiempo de producción de humus en la finca San Nicolás, ubicada en el municipio de Cuilapa, Santa Rosa.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar la cantidad y características nutricionales del humus que se obtendrá de cada método de humificación a evaluar.
- Identificar la conversión en kg de pulpa de café a humus en los distintos tratamientos.
- Cuantificar la relación costo-beneficio en los distintos tratamientos.

4. HIPÓTESIS

5.1 Hipótesis alterna

Al menos uno de los tratamientos diferirá en la calidad nutricional, producción humus en kilos y economía de la producción de humus de pulpa de café.

4.2 Hipótesis nula

Ningún tratamiento de degradación presentará diferencias significativas en calidad nutricional, producción humus en kilo y economía de la producción de humus de pulpa de café.

5. METODOLOGÍA

6.1 Localización del lugar

La investigación se realizó en la finca San Nicolás ubicada en el municipio de Cuilapa, Santa Rosa, a 86 km de la ruta que conduce hacia el municipio de Santa María Ixhuatán, cuyas coordenadas geográficas son: latitud $14^{\circ}12'1.88''N$ y longitud $90^{\circ}13'40.29''O$ -

(Figura 2). Según la clasificación de Holdridge, la zona se encuentra dentro del Bosque muy Húmedo Subtropical Cálido (BmHsc), y posee temperaturas entre que oscilan entre los $19^{\circ}C$ a $27^{\circ}C$, con una precipitación anual promedio de 2000 mm.

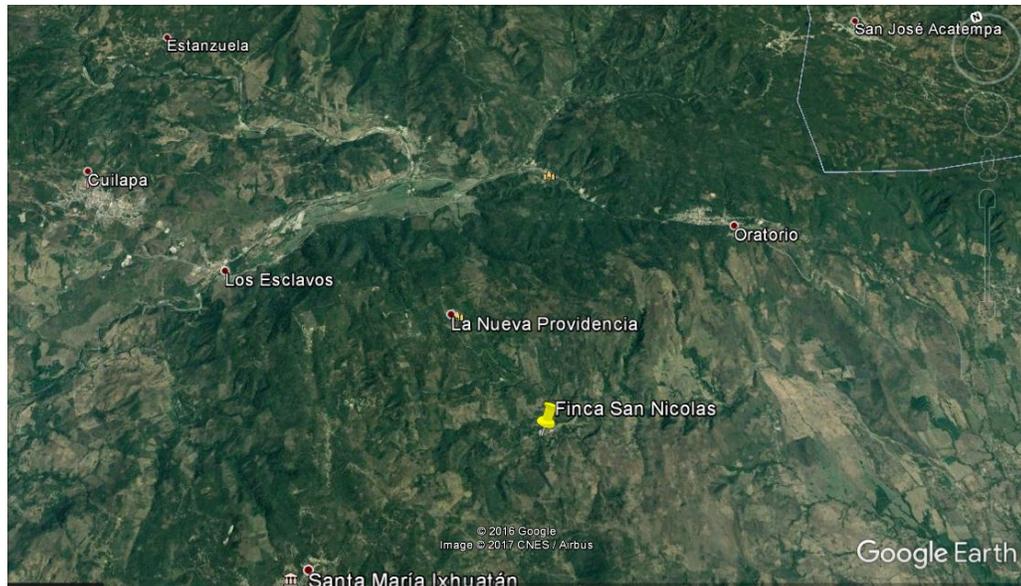


Figura 2. Localización de la investigación realizada en la finca San Nicolas, Cuilapa Santa Rosa. (Google Maps, 2017).

5.2 Material Experimental

Se evaluaron dos métodos de humificación de pulpa de café: siendo los métodos de lombricomposta utilizando la lombriz *Eisenia foetida*, método Bioquímico utilizando el producto comercial BioRegen® Compost y el testigo el cual es un método aeróbico.

6.3 Factores a estudiar

Métodos de humificación de pulpa de café.

6.4. Descripción de tratamientos

Tabla 9. Descripción de tratamientos utilizados en la investigación sobre la eficiencia de humificación de pulpa de café utilizando *Eisenia foetida* y un biodegradador.

6.5. Diseño experimental

No	Tratamiento	Descripción
1	Lombricompost	Degradación de pulpa de café con <i>Eisenia foetida</i>
2	BioRegen®	Degradación de pulpa de café con un biodegradador
3	Testigo	Degradación de pulpa de café aeróbicamente

Se utilizó el diseño completamente al azar con 3 tratamientos y 6 repeticiones.

6.6. Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Siendo,

- Y_{ij} = Variable respuesta.
- μ = media general.
- T_i = Efecto del i -ésimo Tratamiento.
- E_{ij} = error asociado a ij -ésima unidad experimental.

$i = 1, 2$ tratamientos

$j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ repeticiones

6.7. Unidad Experimental

Cada unidad experimental constó de 1 metro cúbico de pulpa de café, recién extraída del proceso de separación húmeda (beneficio húmedo) del grano de café.

6.8. Croquis de campo

T1	T3	T2	T3	T2	T3
T3	T1	T2	T1	T2	T1
T2	T3	T1	T2	T1	T3

6.9. Manejo del experimento

6.9.1 Lumbricultura

Preparación de pulpa de café

Se colecto 18 metros cúbicos de pulpa de café los que se dividieron en 3 lotes de 6 metros cúbicos por tratamiento, 1 metro cúbico por unidad experimental, la pulpa para el tratamiento con lombricompost tuvo un proceso de pre-compostaje aeróbico de tres meses previo a la inoculación, luego se aplica la pulpa a tanques donde posterior mente serán aplicadas las lombrices (*Eisenia foetida*). Para el tratamiento con degradador y testigo se procedió a realizar la separación por unidades experimentales de 1 metro cúbico de pulpa y coloca al azar en un patio de secado de café.

Aplicación de tratamientos

Para la aplicación de lombrices se colocó una cama de 10 centímetros de espesor de pulpa de café, luego se inocularon con 1 kilogramo de lombriz *Eisenia foetida*, se revisa periódicamente para ver si es adecuado colocar una capa de 10 cm de pulpa de café hasta que esta se termine el metro cúbico, luego se recolectan las lombrices.

Para el tratamiento con BioRegen® se diluyo 100 ml de producto por 1 litro de agua para tratar 1 metro cúbico de pulpa de café, y para el tratamiento con testigo se colocaron las unidades experimentales de pulpa de café sobre patios para realizar volteos cada 3 meses.

El tratamiento testigo se dejó únicamente con 4 volteos en el año 1 cada tres meses.

Toma de datos

Luego de transcurrido 1 año para la degradación se procedió a realizar una cuantificación de los datos para la medición del peso y volumen, posteriormente se realizó una muestra de 2 kg por unidad experimental para enviarla al laboratorio y realizar el análisis nutricional en los laboratorios de Analab.

6.10. Variables de respuesta.

Las variables de respuesta que se evaluaron en esta esta investigación son las siguientes:

- Características nutricionales: para la toma de datos de esta variable se tomó una muestra de unidad experimental de pulpa de café y esta fue llevada al laboratorio (Laboratorio de ANACAFE, ANALAB). En el laboratorio se realizó un análisis de abono orgánico en el cual se analizaron los siguientes elementos: pH, relación carbono nitrógeno, nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro, cobre, manganeso, hierro, zinc, porcentaje de carbono orgánico y materia orgánica).
- Producción de humus: para el cálculo de esta variable se procedió a pesar las cantidades de humus obtenidas de cada unidad experimental al final de los tratamientos aplicados.
- Costo de producción de humus: para el calculo de estas variables se tomo registro de los gastos de mano de obra, costo del tratamiento y costo de embalaje en los distintos tratamientos.

6.11. Análisis de la información

6.11.1 Análisis estadístico

Se analizaron cada una de las variables respuestas a través del programa Excel aplicando el análisis de varianza para el diseño completamente al azar y luego se procedió a realizar la prueba múltiple de Medias Tukey, a todas aquellas variables que demuestren alta significancia estadística.

6.11.2 Análisis económico

El análisis económico consistió en establecer la relación Beneficio/costo y rentabilidad de cada tratamiento, utilizando la siguiente formula $RBC = VPB/VPC$.

Dónde:

RBC= Relación Beneficio Costo.

VPB= Valor presente neto de los beneficios Brutos o Netos

VPC= Valor presente neto del costo Brutos o netos.

La rentabilidad es la relación que se obtiene entre las utilidades netas dividiendo el costo total por 100.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Características nutricionales

7.1.1. Potencial de hidrógeno (pH)

En la Tabla se muestra el análisis de varianza para el pH. La cual determino que existe alta significancia estadística entre tratamientos para esta variable.

Tabla 8. ANDEVA para el pH del compost generado de pulpa de café.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-5%)
Tratamientos	2	11.15	5.57	63.69	6.36* 3.68*
Error	15	1.31	0.08		
Total	17	12.46			

**= Alta significancia estadística entre tratamientos.

C. V.: 3.37%

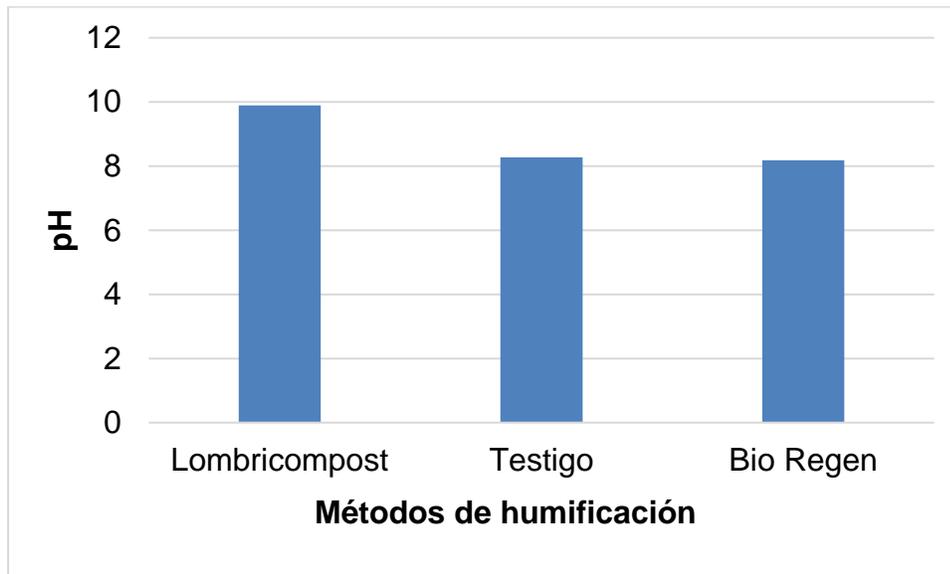
Según la prueba múltiple de medias Tukey, el potencial de hidrogeno de los tratamientos Lombricompost y Testigo son estadísticamente iguales, debido a que los agrupa en la misma categoría (A) con 9.89 y 8.27 de pH respectivamente.

El tratamiento con BioRegen® presento el menor potencial de Hidrogeno con 8.18, según Tukey, este tratamiento es estadísticamente igual a tratamiento testigo, ambos presentaron los menores acumulados de esta variable, entre más se acerca el pH de una materia orgánica a neutro mejor es el aprovechamiento de las plantas de los nutrientes disponibles en el medio.

Tabla 9. Comparación de medias en la escala de puente de hidrógeno.

Métodos de humificación	Medias pH	Agrupador Tukey
Lombricompost	9.89	A
Testigo	8.27	AB
BioRegen®	8.18	B

Figura 3 Comparación sobre los Niveles de pH en los tratamientos de Humificación de pulpa de café.



Como se puede observar en la comparación de medias (Tabla y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) los niveles de pH a través de la degradación con la lombriz *Eisenia foetida* son alcalinos, según S. Santamaría Romero y F. Ferrera-Cerrato (2002), al tener pH mayor de 9.5 la población de lombrices de *Eisenia foetida* no se reproducen, por lo que el medio no es adecuado para la propagación de la especie. Suller y Col (1997) concluyeron que una degradación orgánica se inhibe en pH bajo. Por lo que si se mantiene un pH superior a 7.5 es un indicativo para un buen proceso de degradación. Dado que el tratamiento testigo y BioRegen® presentaron los niveles de pH más cercanos al neutro y superiores a 7.5 podemos concluir que los niveles de pH para desarrollo de la actividad microbiana son favorables, por lo que ayuda a una mejor degradación de la pulpa de café.

7.1.2. Comparación de % de nitrógeno

El Tabla 11 se presenta el análisis de varianza para % de Nitrógeno, el cual determino que existe alta significancia estadística entre tratamientos.

Tabla 10. Análisis de ANDEVA para nitrógeno disponible en tratamientos.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-5%)	
Tratamientos	2	14.19	7.09	50.84	6.36 *	3.68 *
Error	15	2.09	0.13			
Total	17	16.29				

**= Existe diferencia estadística altamente significativa

C. V.: 11.79%

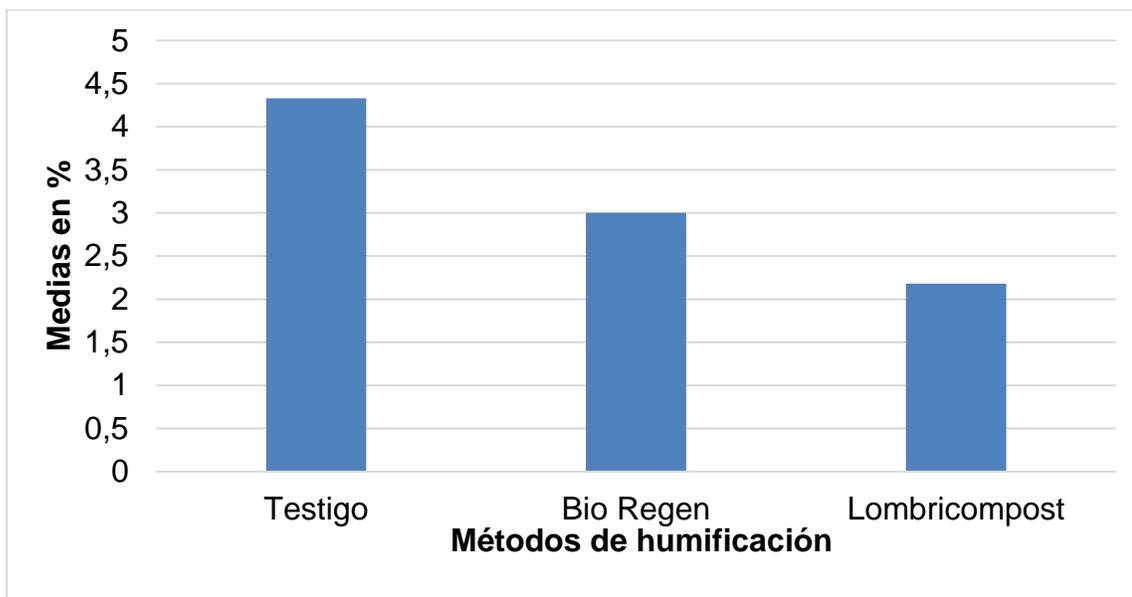
En el Tabla 11 se observa el comportamiento del % de Nitrógeno en los métodos de Humificación evaluados en esta investigación, según Tukey determino que los tratamientos Testigos y BioRegen® estadísticamente son iguales con 4.33% y 3% de N acumulado, ambos presentan los mayores acumulados de este elemento.

En cuanto al tratamiento lombricompost (*Eisenia foetida*) se observa un menor contenido de nitrógeno con un 2.18 % aunque estadísticamente es igual a BioRegen®

Tabla 11. Comparación de medias en % de nitrógeno.

Métodos de humificación	Medias (%)	Grupo Tukey
Testigo	4.33	A
BioRegen®	3	AB
Lombricompost	2.18	B

Figura 4. Comparación de medias de % de nitrógeno en los tratamientos de humificación.



Los niveles de nitrógeno obtenidos en la pulpa de café son considerados altos con un promedio 2.98 % (Perez Melendez, 2004), en el tratamiento testigo presento un porcentaje de nitrógeno de 4.33 % por lo que puede considerarse un nivel más alto para la materia orgánica tratada. El nivel de nitrógeno en porcentaje en el tratamiento de BioRegen® es de 3 % apoyando el resultado de Ligia 2004, según Martínez 2004, los niveles de nitrógeno se elevaron en los tratamientos de pulpa de café donde existían cuerpos muertos de lombriz con una media de 1.61 % a 1.86%. (Martinez Marchorro, 2004), al momento de extraer los cuerpos de la lombriz estas contienen nitrógeno dejando una materia orgánica con menor contenido de nitrógeno.

7.1.3. Relación Carbono nitrógeno (C/N)

Según el análisis de varianza para la relación C/N presente el Tabla 13 existe alta significancia estadística entre tratamientos.

Tabla12. Análisis de ANDEVA para relación Carbono/Nitrógeno

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-5%)	
Tratamientos	2	126.25	63.12	101.63	6.36*	3.68*
Error	15	9.31	0.62			
Total	17	135.57				

**= Existe diferencia estadística altamente significativa
C. V.: 6.6%

Debido a la alta significancia estadística entre tratamientos en esta variable se procedió a realizar la prueba múltiple de medias Tukey (Tabla 14) la cual determino que los tratamientos BioRegen® y testigos son estadísticamente iguales con 15.42 y 10.73 % de la relación C/N ambos agrupados en la categoría A.

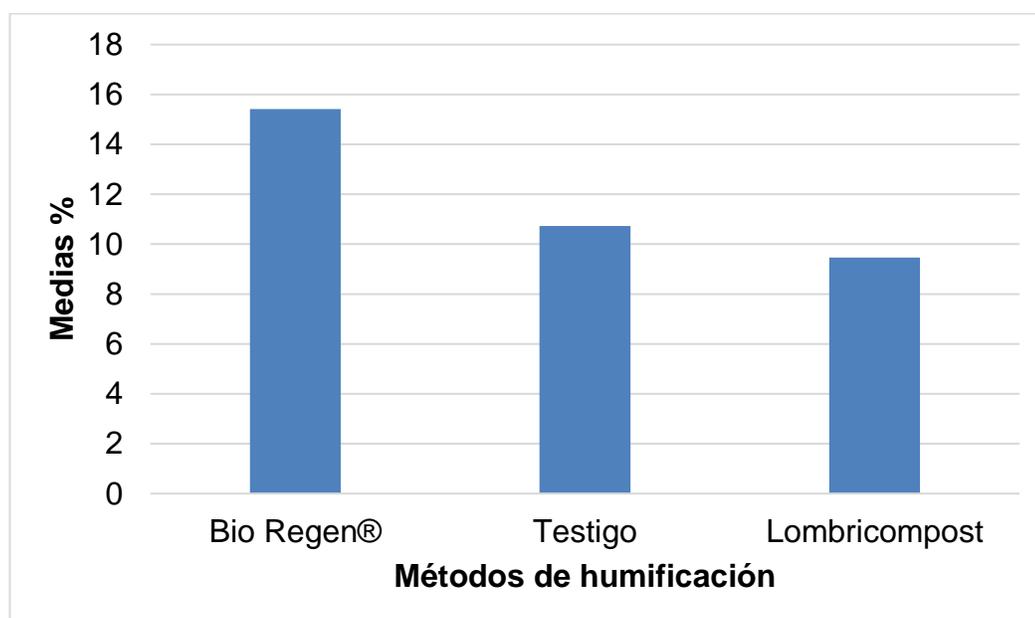
El tratamiento lombricompost 9.46 % de C/N es el tratamiento que presento el menor acumulado de esta variable, aunque estadísticamente según Tukey es igual al tratamiento BioRegen® ambos clasificados en la categoría B.

Esto se debe a que durante el proceso de degradación de la pulpa el tratamiento de BioRegen® no consume carbono. En cuanto al tratamiento con lombricompost (*Eisenia foetida*) el consumo de carbono aumenta debido a la actividad de la lombriz lo cual hace que la relación C/N sea menor, lo que explica el bajo porcentaje en la comparación de medias. Según Zacarías (2013) Una relación óptima inicial de material a compostar es de 25, sin embargo, la mayoría de los autores mencionan que esta puede situarse en un rango de 20 a 30. Las relaciones bajas causan pérdidas prácticamente inevitables de nitrógeno amoniacal, en cuanto a las altas relaciones tornan el proceso de degradación más prolongado. (Díaz, 2002).

Tabla 13. Comparación de medias de unidades de Carbono por una molécula de nitrógeno

Métodos de humificación	Medias en %	Agrupador Tukey
BioRegen®	15.42	A
Testigo	10.73	AB
Lombricompost	9.46	B

Figura 5. Comparación de las medias de relación Carbono/Nitrógeno de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.



7.1.4. Fósforo (P_2O_5)

En el Tabla 15 se presenta el análisis de varianza para el % de Fosforo (P_2O_5) el cual determino que existe significancia estadística entre tratamientos al 5 % de significancia, por lo que se recomienda realizar una prueba múltiple de medias de Tukey para determinar diferencias reales entre tratamientos.

Tabla 14 . Análisis de varianza para el elemento fosforo.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-5%)
Tratamientos	2	0.02	0.01	4.16	6.36 N.S. 3.68 *
Error	15	0.03	0.0025		
Total	17	0.06			

NS= No existe diferencia significativa

*= Existe diferencia estadística significativa

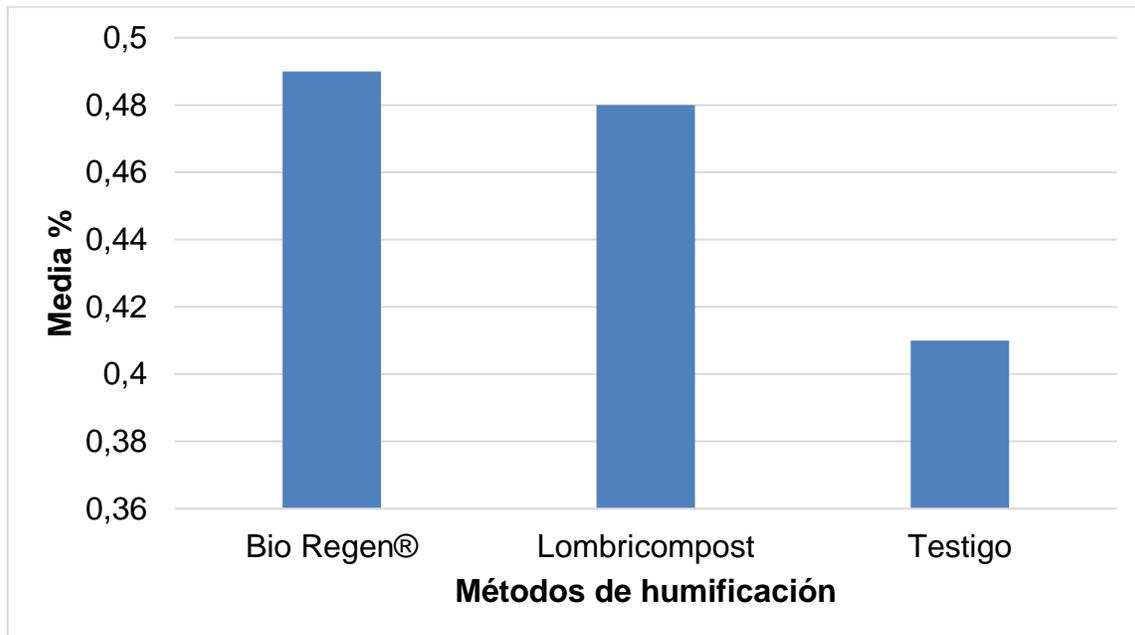
C. V.: 11.07 %

El Tabla 156 y Figura 6 muestran las medias en porcentaje del contenido de fosforo en la pulpa de café con los dos tratamientos. Se observa que los resultados son similares entre el BioRegen® y lombricompost, mientras que con el tratamiento testigo la diferencia es ligeramente más significativa. Esto se puede deber a que en el proceso de degradación con el tratamiento testigo la pulpa de café tuvo una menor mineralización de fosforo que en los demás tratamientos. Sin embargo, según los resultados, el mejor tratamiento para el elemento fósforo es el BioRegen®.

Tabla 156. Comparaciones medias de % para fosforo.

Métodos de humificación	Media%	Agrupador Tukey
BioRegen®	0.49	A
Lombricompost	0.48	AB
Testigo	0.41	B

Figura 6. Comparación de las medias en % de fósforo de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.



Como se puede observar en la Figura 10, los niveles de fósforo asimilable son más altos en el tratamiento con BioRegen® con una media de 0.49% según (Martinez Marchorro, 2004) la pulpa degradada de forma aeróbica posee una media de 0.036% por lo que presenta niveles bajos en la disponibilidad del fósforo, algunos microorganismos solubilizan el fosfato insoluble en procesos como producción de ácidos orgánicos, quelación e intercambio de reacciones. (Bobadilla Henao & Rincon Venegas, 2008) por lo que esto respalda los niveles más elevados en los tratamientos con degradadores a través de actividad microbiana.

7.1.5. Potasio (K²O)

El Tabla 17 se presenta los resultados del análisis de varianza para los niveles de potasio en donde no se encontró una diferencia significativa en las medias.

Tabla 167. Análisis de varianza del potasio

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-5%)	
Tratamientos	2	5.55	2.77	3.99	6.36	3.68
Error	15	10.43	0.69		N.S.	*
Total	17	15.98				

NS= No existe diferencia significativa

*= Existe diferencia estadística significativa

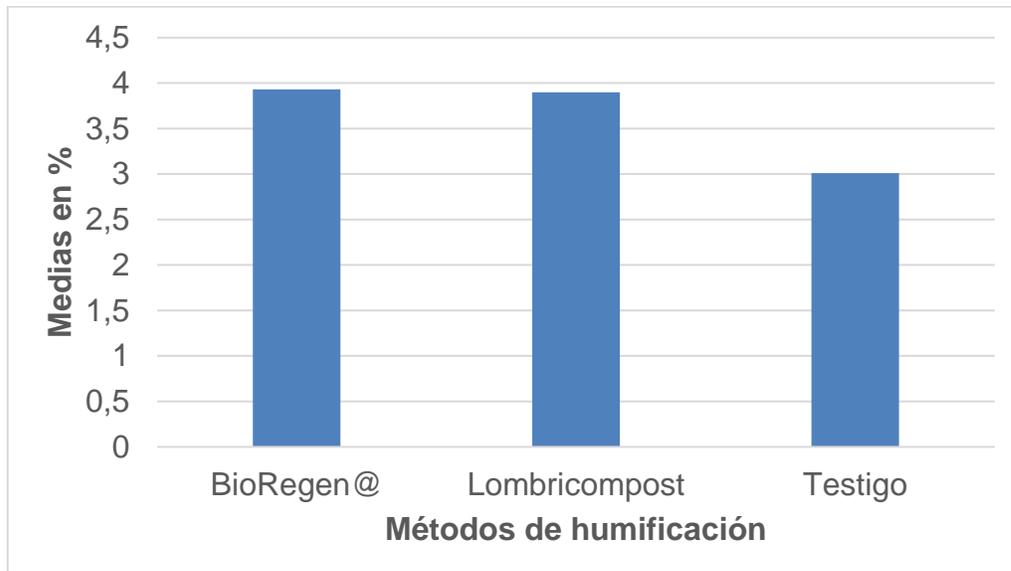
C. V.: 21.49%

Se realizó una comparación de medias Tukey la cual se muestra en el Tabla 16 que el tratamiento con BioRegen® el cual tuvo una media más alta con 3.93% seguido por el tratamiento con lombricompost con 3.90%, lo que nos indica que la pulpa tratada con un degradador ayuda a la mineralización de potasio, el tratamiento testigo obtuvo los niveles de potasio más bajos con 3.01%.

Tabla 178. Comparación de medias en % para potasio

Métodos de humificación	Media %	Agrupador Tukey
BioRegen®	3.93	A
Lombricompost	3.9	AB
Testigo	3.01	B

Figura 7. Comparación de las medias en % de potasio de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.



En la Figura 7. podemos observar que los tratamientos BioRegen® y Lombricompost (*Eisenia foetida*) poseen los niveles más altos de potasio., Lee, 1990 realizó una degradación de pulpa de café utilizando los métodos de degradación enzimática, degradación con volteo y solo colocada, teniendo como resultado que el testigo y la degradación enzimática mineralizan más potasio que con volteo. (Lee Pazos, 1990), estos resultados confirman que los tratamientos para degradar pulpa son más efectivos en la mineralización del potasio. y presentando un mejor resultado el tratamiento con BioRegen®.

7.1.6. Calcio (CaO)

En el Tabla se muestra el análisis de varianza para el calcio en las distintas unidades experimentales de los tratamientos, el cual demostró que no existe una diferencia significativa en los tratamientos. El coeficiente de variación es de 10.37% reflejando en buen manejo del experimento.

Tabla 18. Análisis de varianza para elemento Calcio

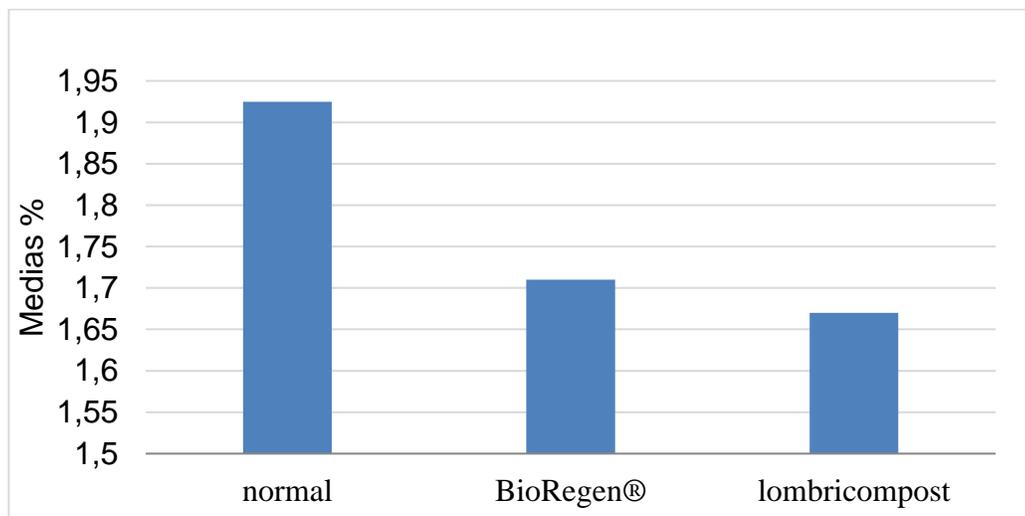
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-5%)	
tratamientos	2	0.23	0.11	3.42	6.36	3.68
Error	15	0.50	0.03		N.S.	N.S.
Total	17	0.73				

NS= No existe diferencia significativa

C. V.: 10.37%

La Figura 12 muestra las medias de calcio con los distintos tratamientos donde se observa que el tratamiento testigo posee niveles más altos de calcio con una media de 1.92%. El tratamiento con BioRegen® presento una media del 1.71% y el tratamiento de lombricompost (*Eisenia foetida*) es el que mostro niveles más bajos de calcio con una media de 1.67%. Según el Ing. Girón J. responsable del área de nutrición e investigación de ANACAFE, estos niveles de calcio no son suficientes para realizar una recomendación de enmienda de este elemento utilizando como fuente la pulpa de café.

Figura 8. Comparación de las medias en % de calcio del Testigo sobre los demás tratamientos de humificación.



7.1.7. Magnesio (Mg)

El Tabla muestra el análisis de varianza realizado para el elemento magnesio de los tratamientos evaluados, en donde se observó que no existe una diferencia significativa por lo tanto en todos los tratamientos las medias del elemento magnesio son estadísticamente iguales.

Tabla 19. Análisis de Varianza para Magnesio.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-5%)	
tratamientos	2	0.017	0.0086	2.91	6.36	3.68
Error	15	0.044	0.0029		N.S.	N.S.
Total	17	0.06				

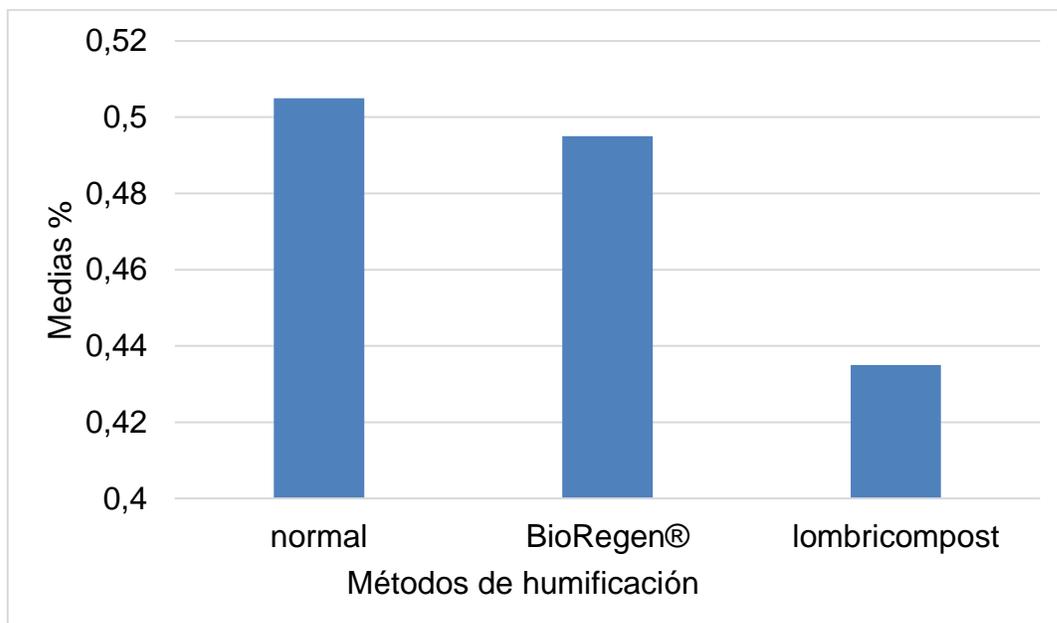
NS= No existe diferencia significativa

C. V.: 11.35%

En la Figura 9. Se muestra grafico de barras donde se comparan los niveles de magnesio obtenidos en cada método de humificación donde se observó que el tratamiento Testigo posee el nivel más alto de magnesio disponible con una media de 0.505%, seguido por el tratamiento con

BioRegen® con una media de 0.495%. El tratamiento con lombricomposta (*Eisenia foetida*) fue el tratamiento que presento niveles más bajos con una media de 0.435%. El mejor tratamiento para el magnesio fue el testigo, esto debido a que la lombriz *Eisenia foetida* necesita nutrientes de elementos como el magnesio para su reproducción y supervivencia lo que provoca que los niveles de magnesio sean menores en este método que en el resto de los métodos de humificación evaluados.

Figura 9. Comparación de las medias en % de Magnesio del Testigo sobre los demás tratamientos de humificación.



En la figura 13 podemos observar que el nivel de magnesio disponible es más disponible en el tratamiento por degradación normal con una media en 0.495%, (Lee Pazos, 1990) determino que el magnesio que se encuentra en la pulpa se vuelve disponible a través del método de degradación con volteos, por lo que en los resultados obtenidos se puede observar el mismo patrón de respuesta. En el tratamiento con lombricompost se puede observar que los niveles de magnesio son más bajos con una media de 0.435% por lo que parte de este elemento se puede perder a través de los lixiviados de lombriz y las mismas lombrices que son extraídas después de haber degradado la pulpa de café (Avila Herrera, 2010).

7.1.8. Azufre (S)

En el Tabla 21 se muestra el análisis de varianza de los tratamientos para el elemento azufre, en donde no reportó diferencia estadística significativa entre tratamientos. Por lo tanto, todos los métodos de humificación para el elemento azufre son estadísticamente iguales.

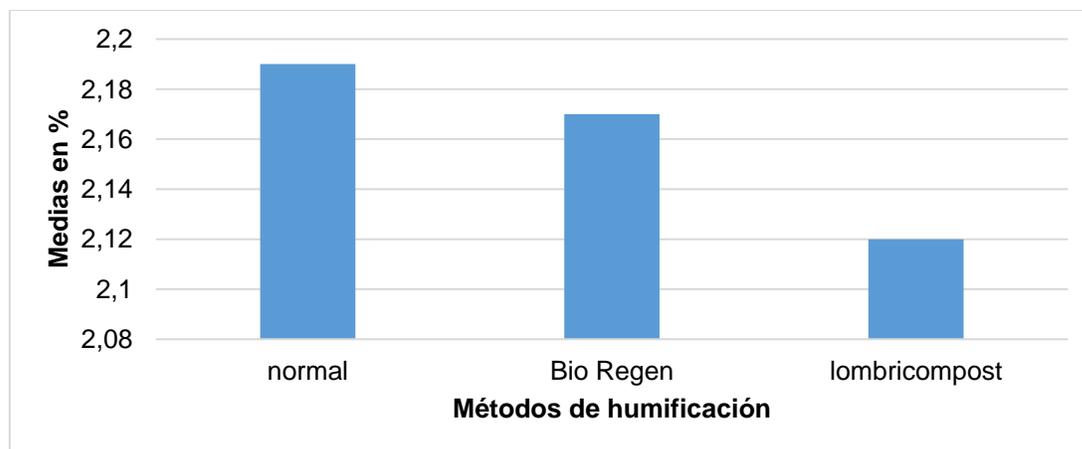
Tabla 220. Análisis de varianza del Azufre

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%- 5%)	
tratamientos	2	0.0004	0.0002	0.086	6.36	3.68
Error	15	0.037	0.0025		N.S.	N.S.
Total	17	0.03				

NS= No existe diferencia significativa
C. V.: 13.94%

La Figura 14 muestra los resultados de las medias con los dos tratamientos. El testigo posee niveles más altos de azufre con una media de 2.19 %, seguido por el tratamiento con BioRegen® con una media de 2.17%. El tratamiento con lombricompost (*Eisenia foetida*) fue el tratamiento que presento niveles más bajos con una media de 2.17%. Las medias observadas de azufre muestran que el mejor tratamiento para la degradación de la pulpa fue el tratamiento testigo.

Figura 10. . Comparación de las medias en % de Azufre de testigo sobre los demás tratamientos de humificación.



En la figura 14 de comparación de medias en % para azufre podemos observar que los niveles de azufre son más bajos en el tratamiento con lombricompost, (Vielma Rondon, Ovalles Durarn, Leon Leal , & Medina, 2003) nos dice que las lombrices de *Eisenia foetida* son ricas en aminoácidos. Lo que nos indica que parte del azufre es utilizado en la síntesis de proteína que forman las lombrices al momento de reproducirse. Otra parte de este elemento es extraído a través del humus líquido.

7.1.9. Boro (B)

Se realizó un análisis de varianza para el elemento boro cuyos resultados se muestran en el Tabla 21. Los resultados indican que existe una diferencia estadística altamente significativa, por lo que fue necesario realizar una comparación de medias Tukey.

Tabla 21. Análisis de ANDEVA para el elemento boro

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-5%)	
tratamientos	2	3207.87	1603.93	29.69	6.36	3.68
Error	15	810.11	54.00		*	*
Total	17	4017.98				

**= Alta significancia estadística entre tratamientos.

C. V.: 8.33%

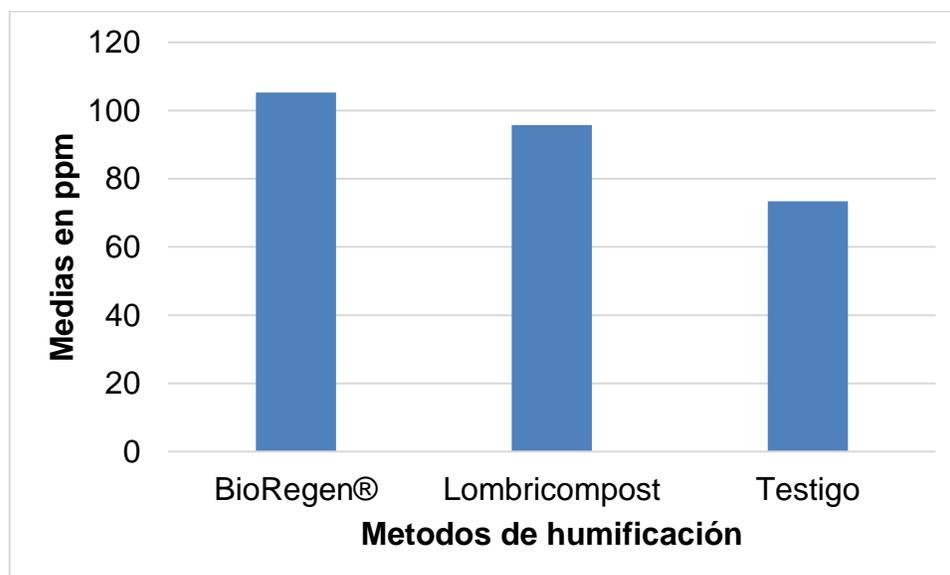
Los resultados del Tabla 21 y Figura 11 indican que el mejor tratamiento utilizado fue el BioRegen® ya que es el que refleja los niveles más altos de boro con una media de 105.28 ppm, debido a que el BioRegen® es un degradador de materia orgánica, este aceleró la degradación de la pulpa de café, derivando así en una mayor disponibilidad de boro en la muestra. En cuanto al tratamiento con lombricompost (*Eisenia foetida*) con una media de 95.74 ppm.

Tabla 223. Comparación de medias en ppm para boro

Métodos de humificación	Medias ppm	Agrupador
BioRegen®	105.28	A
Lombricompost	95.74	AB
Testigo	73.42	B

En la figura 15 se observa que el tratamiento BioRegen® posee los niveles de boro más disponibles con una media de 105.28ppm, seguido por el tratamiento de lombricompost con una media de 95.74 ppm. (Blandon Castaño, Davila Arias, & Rodriguez Velencia, 1999) comprobaron que el contenido de boro en un lombricompost utilizando pulpa de café se encuentra en 75 ppm por lo que se puede observar en los niveles de boro en la degradación son similares a los obtenidos en 1999. Mientras que en el tratamiento con compost se obtuvo una media de 65.33 ppm.

Figura 11: . Comparación de las medias en ppm de Boro de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.



7.1.10. Cobre (Cu)

Se realizó un análisis de varianza para el elemento cobre cuyos resultados se muestran en el Tabla 234. Los resultados indican que existe una diferencia estadística altamente significativa, para lo cual fue necesario realizar una comparación de medias Tukey las cuales se muestran en el Tabla 244.

Tabla 234. Análisis de ANDEVA para el elemento cobre.

G.						
F.V.	L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-5%)	
Tratamientos	2	1111.14	555.57	86.82	6.36	3.68
Error	15	95.98	6.39		**	**
Total	17	1207.12				

**= Existe diferencia estadística altamente significativa

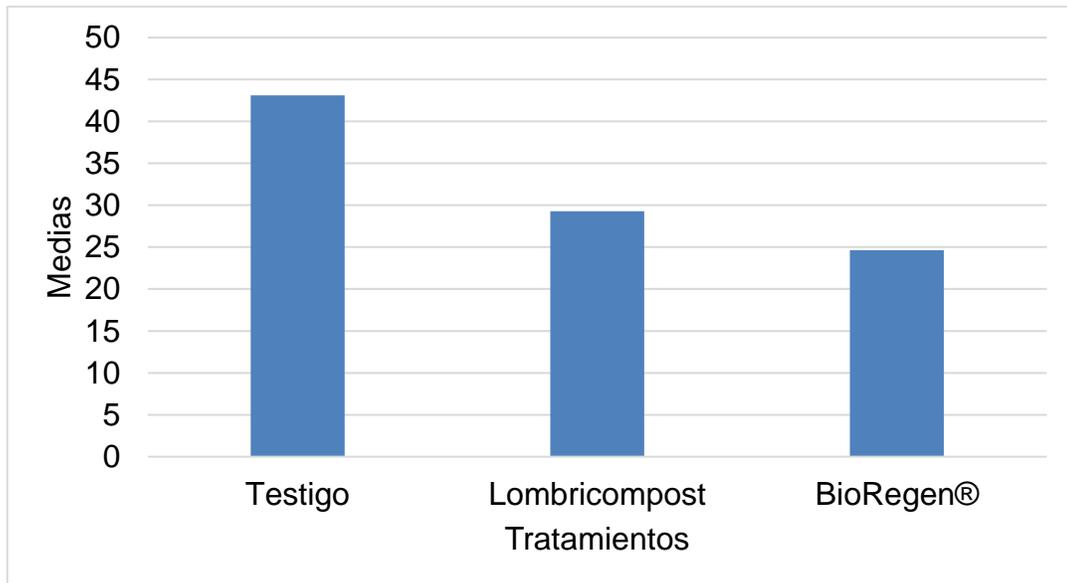
C. V.: 7.82%

El Tabla 25 muestra la comparación de medias Tukey, quedando en el grupo A el tratamiento testigo con una media de 43.12 ppm, dando como un mejor resultado la disponibilidad del elemento cobre, seguido por el tratamiento de lombricompost con una media de 29.17 ppm, el tratamiento de BioRegen® muestra una media de 24.63ppm quedando como uno de los tratamientos con el cobre menos disponible.

Tabla 245. Comparación de medias de % para elemento cobre

Métodos de humificación	Medias	
	ppm	Agrupador Tukey
Testigo	43.12	A
Lombricompost	29.27	AB
BioRegen®	24.63	AB

Figura 12. Comparación de las medias en ppm de cobre de Testigo sobre los demás tratamientos de humificación.



En la Figura 122 muestra la comparación de medias para elemento cobre dando como resultado que el tratamiento a través de la degradación aeróbica posee un contenido más alto de cobre disponible para la planta (Sicaju Lopez, 2012) estableció que uno de los motivos porque el cobre se encuentra en niveles altos es debido a los porcentajes de materia orgánica, ya que este posee niveles altos y ayuda a la retención de cobre. En el tratamiento con BioRegen® y Lombricompost se pueden tener pérdidas por lixiviación y al momento de coleccionar lixiviados que estos producen (Avila Herrera, 2010).

7.1.11. Hierro (Fe)

Se procedió a realizar un análisis de varianza para el elemento hierro (.

Tabla 256), dando como resultado una alta significancia en las medias.

Tabla 256. Análisis de ANDEVA para el elemento hierro

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-5%)	
tratamientos	2	64612209.04	32306104.52	83.85	6.36	3.68
Error	15	5778853.72	385256.91		**	**
Total	17	70391062.77				

**= Existe diferencia estadística altamente significativa

C. V.: 10.9%

El Tabla 267 y Figura 17 muestra que el mejor tratamiento para la mineralización de hierro en el proceso de degradación de pulpa de café es el tratamiento con *Eisenia foetida*, ya que su digestión ayuda a una mejor disponibilidad de hierro, en el caso del testigo posee una menor cantidad de degradadores, dando como resultado un proceso más lento en la mineralización del elemento.

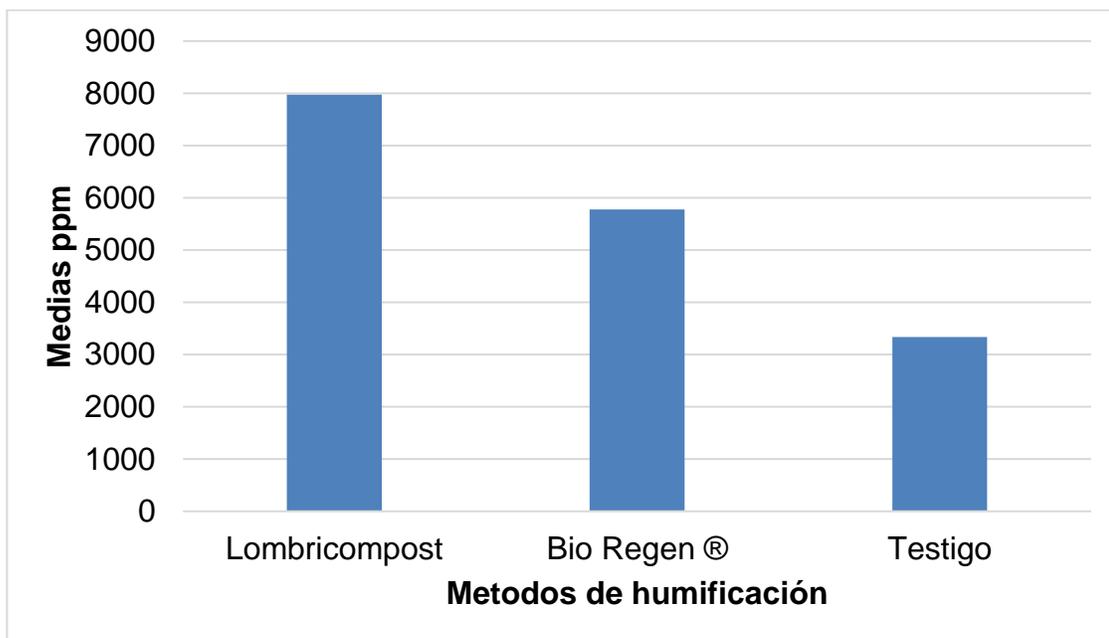
Tabla 267. Comparación de medias Tukey para hierro

Métodos de humificación	Medias %	Agrupador Tukey
Lombricompost	7975.83	A
BioRegen®	5774.62	AB
Testigo	3337	B

En la figura 17 se observó se encuentra en un orden descendente donde el tratamiento de lombricompost posee un nivel más alto de hierro con una media de 7975.83 ppm, seguido por el

tratamiento de BioRegen® con una media de 5774.62 ppm. según la interpretación el tratamiento testigo posee los niveles más bajos de hierro con una media de 3337 ppm por lo que para este elemento presenta un bajo rendimiento en la mineralización del elemento.

Figura 13. . Comparación de las medias en ppm de hierro de Lombricompost sobre los demás tratamientos de humificación.



Como podemos observar en la figura 13 se muestra que el tratamiento Lombricompost posee niveles más altos de hierro disponibles (Sicaju Lopez, 2012) hace mención de que uno de los motivos por los que este elemento se encuentra en mayor disponibilidad son los niveles de pH alto junto con los niveles de fosforo alto ayudan a la disponibilidad de este elemento. (Lee Pazos, 1990) concluye en su informe que parte de que el comportamiento es inestable en los niveles de hierro es debido a que al principio de la degradación se formaron compuestos que dejaron al hierro en una forma no disponible, pero las lluvias que inciden antes y después de la degradación inciden en la disponibilidad del hierro. Debido a que el tratamiento con lombricompost es en un lugar con condiciones más controladas su puede evitar las lluvias y controlar la humedad.

7.1.12. Manganeso (Mn)

En el Tabla 278 se muestra el análisis de varianza para el elemento manganeso, dando como resultado una diferencia altamente significativa debido a que el factor de correcciones mayor que la F tabulada tanto al 1 como al 5% de significancia. Por lo tanto, se debe de realizar una prueba múltiple de medias para determinar diferencias reales entre tratamientos

Tabla 278. Análisis de ANDEVA para el elemento manganeso

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-5%)	
Tratamientos	2	4634.74	2317.37	6.69	6.36	3.68
Error	15	5189.46	345.96		*	*
Total	17	9824.20				

**= Existe diferencia estadística altamente significativa

C. V.: 7.77%

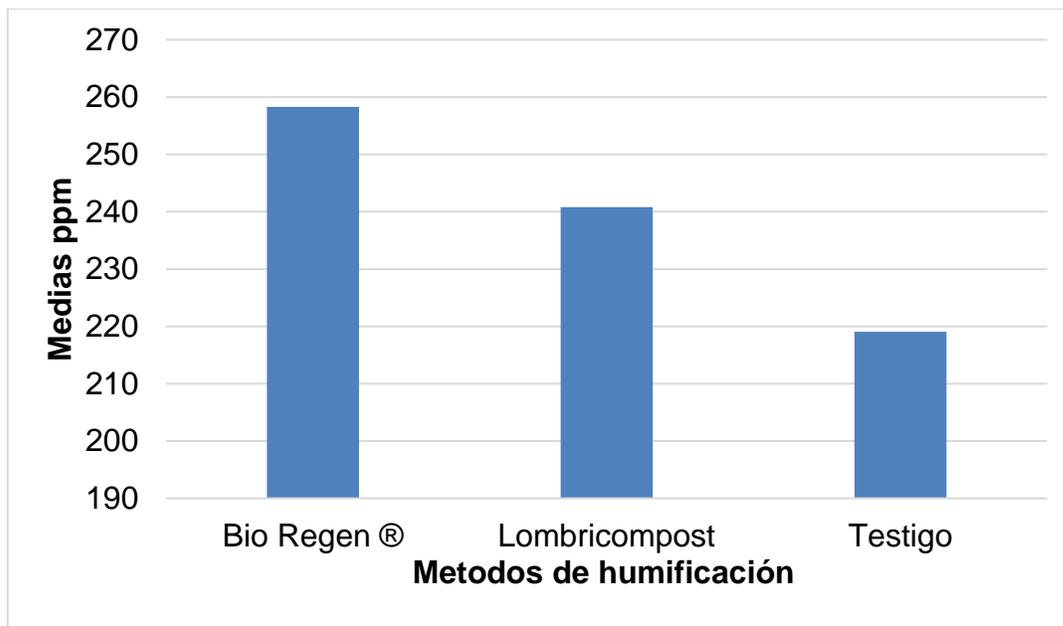
Según la comparación de medias en la Tabla 29 y Figura 14, el mejor tratamiento es el BioRegen ® con una media de 258.28 ppm. Los demás tratamientos presentaron resultados menores, aunque similares al tratamiento de BioRegen®, esto podría indicar que para el elemento manganeso cualquiera de los 3 tratamientos podría ser adecuado.

Tabla 289. Comparación de medias en ppm para manganeso.

Métodos de humificación	Medias ppm	Agrupador Tukey
BioRegen®	258.28	A
Lombricompost	240.82	AB
Testigo	219.05	B

En la figura 18 se observa que los niveles de Mn disponibles del sustrato son mayores en el tratamiento con BioRegen® con una media de 258.28ppm aportando más cantidad de nutriente al momento de utilizar, seguido por el tratamiento de Lombricompost con una media de 240.82ppm. El tratamiento testigo posee un nivel más bajo en este elemento debido a la falta de un tratamiento degradador.

Figura 14. . Comparación de las medias en ppm de manganeso de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.



Como se puede observar en la figura 18 que el tratamiento con un mejor rendimiento en la mineralización del manganeso es el BioRegen® con una media de 258.28 ppm, (Sicaju Lopez, 2012) determina que el tratamiento con una mayor disponibilidad de manganeso es la pulpa tratada con bactoagar, un tratamiento a base de microorganismos encargados de la degradación. Por lo que respalda el haber obtenido niveles más altos de en el tratamiento de degradación a base de BioRegen®. En el tratamiento con lombricompost parte de este elemento se extrajo en el vermicompost líquido, viéndose reflejado en los niveles disponibles. (Avila Herrera, 2010).

7.1.13. Zinc (Zn)

El Tabla 2930 nos muestra análisis de varianza del elemento zinc, dando como resultado una alta significancia en las medias entre tratamientos por lo tanto se procedió a realizar una prueba de múltiple de medias Tukey.

Tabla 29. Análisis de ANDEVA para el elemento zinc

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%- 5%)	
Tratamientos	2	2604.33	1302.16	52.55	6.36	3.68
Error	15	371.67	24.77		**	**
Total	17	2976.01				

**= Existe diferencia estadística altamente significativa

C. V.: 15.23%

Los resultados de la comparación de medias para el elemento zinc

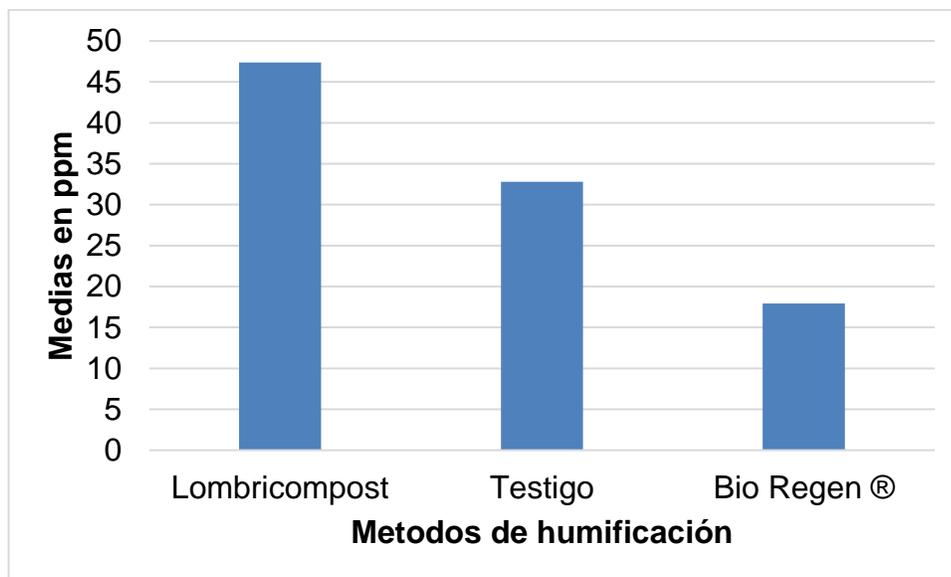
muestran que el mejor tratamiento para la mineralización del zinc es el de *Eisenia foetida* con una media de 47.38 ppm en zinc disponible, en este caso el tratamiento BioRegen® no es recomendable para la degradación de este elemento ya que presento niveles más bajos.

Tabla 30. Comparación de medias de Tukey para el elemento zinc

Métodos de humificación	Medias ppm	Agrupador Tukey
Lombricompost	47.38	A
Testigo	32.78	AB
BioRegen ®	17.92	B

En la figura 15 se encuentran ordenados los tratamientos del mayor al menor rendimiento en base en los niveles de zinc disponibles en ppm, se observa que el tratamiento de lombricompost obtuvo niveles más altos de zinc disponibles con una media de 47.38 ppm, el tratamiento BioRegen® posee un menor rendimiento en la mineralización de dicho elemento con una media de 17.92 ppm.

Figura 15. . Comparación de las medias en ppm de zinc de Lombricompost sobre los demás tratamientos de humificación.



En la Figura 15 se muestra que el tratamiento más efectivo para la degradación del zinc es el tratamiento con lombricompost (*Eisenia foetida*) con una media de 47.38 ppm (Lee Pazos, 1990) determino que el tratamiento con degradación enzimática fue afectada por los cambios de pH que produce la lluvia. (Sicaju Lopez, 2012) determino que a un mayor tiempo de degradación más disponible estará este elemento por lo que con un promedio de 32.84 ppm el tratamiento con lombricompost supero el contenido de zinc que obtuvo anteriormente.

7.1.14. Carbono orgánico

Los resultados de la tabla 32 del análisis de varianza de las medias obtenidas en porcentaje de los tratamientos indican que existe una diferencia estadística altamente significativa en las muestras analizadas, por lo tanto, se procedió a realizar una prueba múltiple de medias.

Tabla 31. Análisis de ANDEVA para el carbono orgánico

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-	
					5%)	
Tratamientos	2	2786.1391	1393.06955	211.7750285	6.36	3.68
Error	15	98.67095	6.578063333		**	**
Total	17	2884.81005				

**= Existe diferencia estadística altamente significativa

C. V.: 6.79%

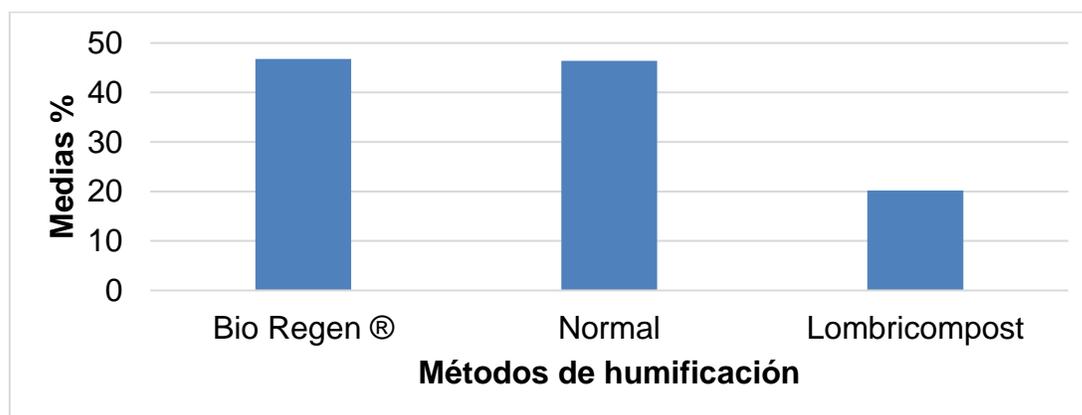
En la tabla 33 muestra que el mejor tratamiento para la degradación del carbono orgánico es el BioRegen®. Se observa en el Tabla que la media del BioRegen® es el doble que el resultado con el tratamiento de lombricompost (*Eisenia foetida*). Esto es debido a que la lombriz para realizar sus actividades metabólicas requiere energía de los azúcares que posee la pulpa de café lo cual da como resultado una baja cantidad de carbono orgánico que es lo que esta utiliza como fuente principal. Esto explica la razón por la cual los resultados con lombricompost son bajos en comparación con los del BioRegen® y los del tratamiento testigo. De esta cuenta se podría decir que el tratamiento más recomendable a utilizar para la degradación del carbono orgánico es el BioRegen®.

Tabla 32. Comparación de medias de % para carbono orgánico

Métodos de humificación	Medias %	Agrupador Tukey
BioRegen®	46.76	A
Normal	46.39	A
Lombricompost	20.18	B

En la figura 16 muestra que los tratamientos BioRegen® y degradación normal contiene un nivel más alto en los niveles de carbono, aportando una mayor fuente de energía a los microorganismos del suelo, el tratamiento lombricompost presenta niveles más bajos con una media de 20.18% con más del 50% menor a los 2 tratamientos anteriores, indicando que posee una menor cantidad de energía, la cual fue utilizada por la lombriz al momento de degradar la pulpa de café.

Figura 16. . Comparación de las medias en % de carbono orgánico de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.



Se realizó una entrevista con el técnico de investigación y desarrollo de ANACAFE (Giron, Josue;, 2017) en donde se concluyó que el tratamiento con BioRegen® posee un contenido mayor del 100% de carbono, este rico en energía para los microorganismo realicen el proceso de degradación (Melendez & Soto, 2003).

7.1.15. Materia orgánica (M.O)

En el (Tabla 33) se presentan los resultados para el análisis de varianza para materia orgánica la cual determinó que existe alta significancia entre los tratamientos por lo que fue necesaria una comparación de medias de Tukey

Tabla 33. Análisis de varianza para el elemento materia orgánica

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-	
					5%)	
Tratamientos	2	9026.33	4513.16	211.77	6.36	3.68
Error	15	319.66	21.31		**	**
Total	17	9346				

**= Existe diferencia estadística altamente significativa

C. V.: 6.79 %.

Según la prueba múltiple de medias Tukey presente en Tabla 33 los métodos de humificación BioRegen® y Testigo son estadísticamente Iguales debido a que Tukey los agrupa en la misma categoría A aunque el método de Humificación BioRegen® fue el que presentó el mayor porcentaje de Materia orgánica con 85.73 %.

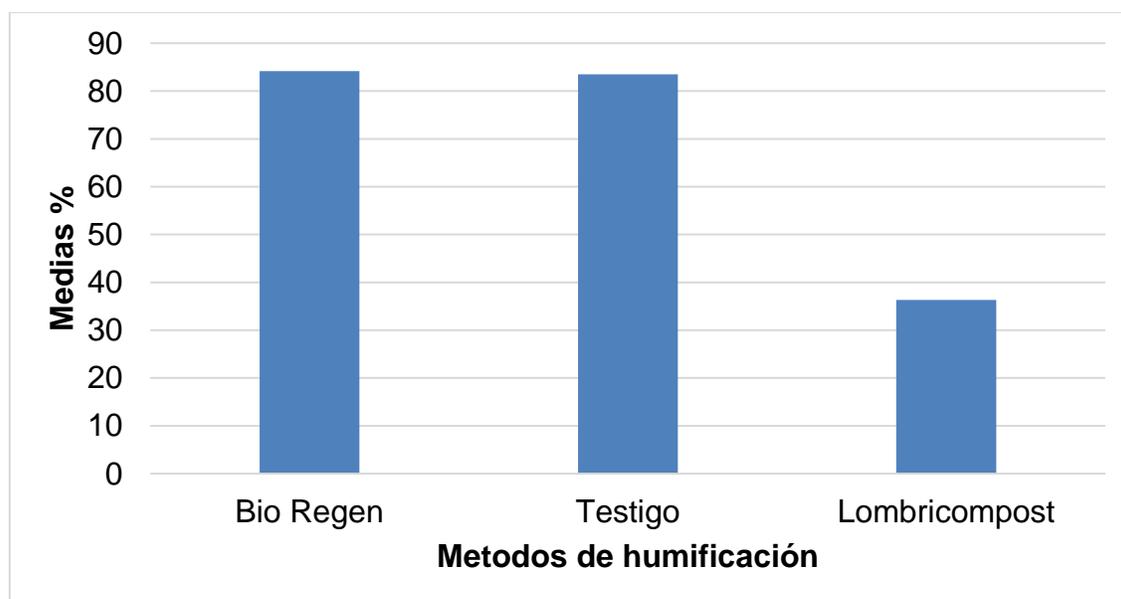
El método de Humificación Lombricomposta con 36.33% de materia orgánica fue el método que presentó el menor porcentaje de materia orgánica y Tukey lo coloca solo a él en la Categoría B, este bajo porcentaje de materia orgánica se debe a que la lombriz *Eisenia foetida* utiliza como fuente de alimento la materia orgánica por lo tanto los porcentajes de este elemento son menores.

Tabla 34. Comparación de medias en % para materia orgánica

Métodos de humificación	Medias %	Agrupador Tukey
BioRegen®	84.17	A
Testigo	83.5	A
Lombricompost	36.33	B

En la figura 17 se muestra que el tratamiento BioRegen® con una media de 84.17% y el tratamiento testigo con una media de 83.5% poseen los niveles más altos de materia orgánica, el tratamiento de lombricomposta presento el nivel más bajo con una media de 36.33%.

Figura 17. . Comparación de las medias en % de materia orgánica de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.



Al observar la figura 21 se puede determinar que el tratamiento que presento el mayor porcentaje de materia orgánica es el método de humificación con BioRegen® con 84.17% seguido del método Testigo con un 83.5%, al comparar estos resultados con los del tratamiento Lombricomposta con *Eisenia foetida* con 36.33 % se puede determinar que los tratamientos

BioRegen® y testigo producen más del doble de porcentaje de materia orgánica que el de lombricomposta con una relación superior a la de 2/1. Esto podría explicarse ya que la lombriz *Eisenia foetida* utiliza la materia orgánica como una fuente de energía (así como con el carbono orgánico) para sus procesos metabólicos, derivando así en el alto consumo de materia orgánica (FAO, 2012) y dejando así una menor cantidad de materia orgánica en la muestra, lo cual refleja en el bajo porcentaje. Los bajos niveles de materia orgánica se deben también a la cantidad de lixiviados que se extraen del lombricompost al momento de pasar por el proceso de degradación a través de la lombriz *Eisenia foetida* (Avila Herrera, 2010).

7.2. Producción de humus Kg.

En el Tabla 36 se presenta el análisis de varianza para la cantidad de humus obtenido de los tratamientos, donde se obtuvo alta significancia estadística entre tratamientos por lo que se procedió a realizar una prueba múltiple de medias para determinar diferencias reales entre tratamientos.

Tabla 35. Análisis de varianza para la producción de humus (kg)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft (1%-5%)	
Tratamientos	2	60.66	30.33	7.27	6.36	3.68
Error	15	62.54	4.16		*	*
Total	17	123.20				

**= Existe diferencia estadística altamente significativa

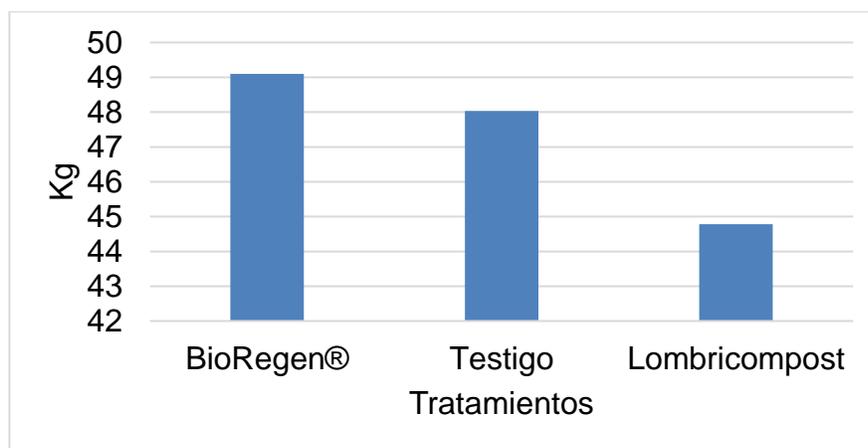
C. V.: 4.32%

Tabla 36. Comparación de medias de Tukey para producción de Humus Kg.

Métodos de humificación	Medias Kg	Agrupador
BioRegen®	49.1	A
Testigo	48.03	AB
Lombricompost	44.78	B

En el Tabla 37 se presentan los resultados de la prueba múltiple de medias Tukey el cual determino que los tratamientos BioRegen® y Testigo con 49.1 y 48.03 Kg de humus por metro cúbico de pulpa fresca de café fueron los tratamientos que presentaron los mayores rendimientos de humus en esta investigación además según Tukey son estadísticamente iguales debido a que ambos tratamientos los agrupa en la categoría A, aunque el tratamiento testigo Tukey también lo agrupa junto al tratamiento Lombricompost en la categoría B con un rendimiento de 44.78 kg de humus este tratamiento fue el que presento el menor rendimiento de humus en esta investigación.

Figura 18. Comparación de las medias en kg de humus de BioRegen® sobre los demás tratamientos de humificación.



Como podemos interpretar en la figura 19 el tratamiento con un mejor rendimiento es el tratamiento con BioRegen®, teniendo en cuenta la cantidad de materia seca obtenida por ambos procesos, la disponibilidad de materia orgánica y de minerales en términos de peso, fue mayor en el tratamiento Testigo, característica que lo haría superior al lombricompost. (Blandon Castaño, Davila Arias, & Rodriguez Velencia, 1999) determinaron que por cada 600 Kg de pulpa de café fresca se obtienen para el compostaje 23.11 kg y para el lombricompost 12.27kg kg de material seco. Por lo que los tratamientos con BioRegen® con una media de 49.1 kg y el tratamiento testigo (degradación aeróbica) con 48.78 kg concuerdan con los resultados anteriormente obtenidos por Blandon, Dávila y Rodríguez (1999). Ya que estos tratamientos por tener el mismo método de degradación a base de microorganismos se obtiene un rendimiento semejante. (FAO, 2012).

7.3. Tablas conciliatorias de medias de todos los tratamientos

Tabla 37. Tabla conciliatoria de las medias de los tratamientos por variable y clasificadas por Tukey

	Normal		lombricompost		BioRegen®	
	5% y 1%	Medias	5% y 1%	Medias	5% y 1%	Medias
pH	AB	8.27	A	9.89	B	8.18
Nitrógeno %	A	4.33	B	2.18	AB	3
Relación Carbono/Nitrógeno %	AB	10.73	B	9.46	A	15.6
Fosforo %	B	0.41	AB	0.48	A	0.49
Potasio %	B	3.305	A	4.63	AB	3.71
Calcio %	N.S.	1.925	N.S.	1.67	N.S.	1.71
Magnesio %	N.S	0.505	N.S	0.435	N.S	0.495
Azufre %	A	0.37	B	0.35	AB	0.36
Boro ppm	B	73.42	AB	95.74	A	105.28
Cobre ppm	A	43.12	AB	29.27	AB	24.63
Hierro ppm	B	3337	A	7975.83	AB	5774.62
Manganeso ppm	B	219.05	AB	240.82	A	258.28
Zinc ppm	AB	32.78	A	47.38	B	17.92
Carbono Orgánico %	A	46.39	B	20.185	A	46.76
Materia Orgánica %	A	83.5	B	36.33	A	84.17
Humus Kg	AB	48.03	B	44.78	A	49.1

En el Tabla 38 se muestra que la letra A representa los tratamientos que poseen un mejor valor formando así un grupo distinto. El segundo grupo se encuentra identificado por la letra AB que son los tratamientos que poseen similitud pero presentan una diferencia estadística. El tercer grupo se encuentra formado por la letra B. Como podemos observar el tratamiento que posee más elementos en el grupo A es el BioRegen®, ya que es mayor en la relación Carbono/nitrógeno, fosforo, Boro, Manganeso, Carbono Orgánico, Materia Orgánica y humus.

Tabla 38 Tabla conciliatorio según la clasificación de Tukey al 1% y 5%.

Métodos de humificación		AB	B	N.S.
Normal	5	4	6	2
Lombricompost	5	4	6	2
BioRegen®	7	6	2	2

Como podemos observar en el Tabla 39, el tratamiento con BioRegen® posee una mayor cantidad de elementos en el grupo A. Los tratamientos Normal y Lombricompost poseen la misma cantidad de elementos en los grupos de calificación Tukey. Vásquez en el 2016 concluyo que al momento de agregar microorganismos efectivos y lombriz *Eisenia foetida* acelera el proceso de descomposición y que existe variación de contenido nutricional en el compost al variar cantidades de microorganismos efectivos y coqueta roja (Vazques V., 2016).

7.4. Análisis económico

Se determinó la distribución de costos fijos y variables para cada tratamiento con el fin de determinar la factibilidad de la incorporación de cada tratamiento para la humificación de la pulpa de café.

Tabla 39 Descripción de costos de producción del tratamiento Lombricompost

Concepto	Unidad	cantidad	Precio Unitario	Total, Q
Limpieza, riego, manejo y control de plagas	Jornal	3	Q40.00	Q120.00
Cosecha de lombricompost	Jornal	1	Q40.00	Q40.00
Semilla de lombricompost	Kg	6	Q60.00	Q360.00
Sacos de embalaje	saco	6	Q1.50	Q9.00
Total				Q529.00

Se observa en el Tabla 39 que los gastos en los que se incurre en la producción de humus de pulpa de café utilizando lombriz son principalmente, la compra de estas, siendo el mayor rubro de inversión, así como su mantenimiento con limpieza y riego del material, presentando costo total de Q 529.0/6m³ siendo el tratamiento con mayor costo de producción.

Tabla 40. Descripción de costos de producción del tratamiento BioRegen®

Concepto	Unidad	cantidad	Precio Unitario	Total, Q
Costo del producto	ml	600	Q0.16	Q97.20
Mano de obra	jornal	2	Q40.00	Q80.00
Sacos de embalaje	saco	6	Q1.50	Q9.00
Total				Q186.20

Se observa en el Tabla 40 que los gastos en los que se incurre en la producción de humus de pulpa de café utilizando BioRegen® son principalmente, la compra del producto mismo, siendo el mayor rubro de inversión, así como el mantenimiento con limpieza y riego del material en mano de obra, presentando costo total de Q 186.20/6m³

Tabla 41. Descripción de costos de producción del tratamiento Testigo

Concepto	Unidad	cantidad	Precio Unitario	Total, Q
Mano de obra	jornal	3	Q40.00	Q120.00
Total				Q120.00

Se observa en el Tabla 41 que los gastos en los que se incurre en la producción de humus de pulpa de café sin tratamiento alguno son principalmente, la mano de obra para su volteo, presentando costo total de Q 120.00/6m³ siendo el tratamiento con menor costo de producción.

Tabla 42. Resumen de costos para producción de Humus de pulpa de café por cada seis metros cúbicos.

Costo	Lombricompost	BioRegen®	Testigo
Variable	Q 489	Q 106.2	0
Costo Fijo	Q 40	Q 80	Q 120.00
Costo Total	Q 529.00	Q 186.20	Q 120.00

El Tabla 42 indica el resumen de los costos de producción para cada tratamiento por seis metros cúbicos de pulpa fresca de café, en donde se puede observar que los mayores costos de producción se presentan los Métodos de humificación con Lombricompost y BioRegen®. Siendo el método de humificación con Lombricompost el de mayor costo, esto debido al alto costo de la lombriz *Eisenia foetida* el que incrementa los costos en este tratamiento. Por último tenemos al método de humificación testigo, que es el de menor costo de producción debido a que no se necesita comprar algún elemento que ayude a la degradación de la materia orgánica y que incremente los costó de producción, solamente se apila la pulpa de café y por efecto de temperatura y microorganismo degradadores que se reproducen naturalmente en la materia orgánica se encargan de degradar la pula de café

Al comparar los costos del método de humificación Testigo con el resto de los tratamientos se puede observar que los tratamientos BioRegen® y Lombricompost presentan un costo superior al 55% del costo del tratamiento testigo.

7. CONCLUSIONES

El tratamiento de Humificación con BioRegen® obtuvo los mayores porcentajes en los elementos: Fosforo (0.49%), Boro (105.28ppm), Manganeso (258.28ppm), Carbono Orgánico (46.76%), Materia orgánica (84.17%) y la Relación Carbono Nitrógeno 15, el tratamiento con Lombricompost utilizando *Eisenia foetida* presentó los niveles más altos de, Potasio (4.6%), Hierro (7975.83ppm) y Zinc (47.38ppm).

El tratamiento Lombricompost posee la media más alta con 9.89, el tratamiento más bajo en pH fue el BioRegen® con 8.18.

El método de humificación que presentó la mayor producción de Humus por metro cúbico pulpa fresca de café fue el tratamiento con BioRegen® con 49.1 Kg, el tratamiento de Lombricompost con *Eisenia foetida* obtuvo 48.78 kilogramos de humus.

De acuerdo con el análisis económico el tratamiento que presento el mayor costo de producción por cada seis (6) metros cúbicos de pulpa de café es el método de humificación Lombricompost Q.529.00, seguido del Método de humificación con BioRegen® Q. 186.20.

8. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos para cada una de las variables estudiadas se recomienda utilizar el Método de Humificación con BioRegen® para la degradación de pulpa fresca de café a la dosis de 100 ml por metro cúbico de pulpa.

Se recomienda evaluar los dos métodos de humificación evaluados en esta investigación en pulpa de café Pre degradada, para determinar el contenido nutricional y la calidad de la materia orgánica.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aburto, F. (2001). La Lombriz Roja, su actividad en el suelo y posibles usos en suelos con cero labranza. Consultado el 1 de septiembre 2014(En red). Disponible en: <http://www.sap.uchile.cl/descargas/agronomia/lombrices.pdf>

ANACAFE, (2012). Despulpado. Consultado el 2 de marzo 2014 (En red). Disponible en: http://www.anacafe.org/glifos/index.php/BeneficiadoHumedo_Despulpado

ANACAFE. (2012). Abonos orgánicos. Consultado el 1 de septiembre 2014 (En red). Disponible en: https://www.anacafe.org/glifos/index.php/CaficulturaOrganica_Abonos

ANACAFE. (2012). Los subproductos del café. 2 de marzo 2015 (En red). Disponible en: https://www.anacafe.org/glifos/index.php/BeneficioHumedo_Subproductos#Caracterización_de_los_subproductos

Alarcón Álvarez, R. (2010). Aprovechamiento de los residuos Orgánicos para la producción de humus utilizando lombriz roja californiana. Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: http://www.udesverde.com/PDF/Manual_Lombricultura_UDES.pdf

Ávila Herrera, B. A. (2010). Transferencia de la técnica de manejo y producción a base de pulpa de café, con pequeños caficultores de la aldea de Los Coles, San Pedro Necta, Huehuetenango. Ciudad de Guatemala: USAC

Benintende, S. y Sánchez, C. (2010). Microorganismos del suelo. Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: http://www.fca.uner.edu.ar/academicas/deptos/catedras/microbiologia/parte_de_unidades_10_y_11_microorganismos_del_suelo.pdf

Blandon Castaño, G., Davila Arias, M. yRodriguez Velencia, N. (1999). Caracterización Microbiológica Y Físico-Química De La Pulpa De Café Sola Y Con Mucílago, En Proceso

De Lombricompostaje. Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en : [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc050\(01\)005-023.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc050(01)005-023.pdf)

Bobadilla Henao, C. y Rincon Venegas, S. (2008). Aislamiento Y Produccion De Bacterias Fosfato Solubilizadoras A Partir De Compost Obtenido De Residuos De Plaza. Pontificia, Facultad De Ciencias Carrera De Microbiologia Industrial, Bogota.

Bollo, E. (2003). Lombricultura. Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/33717799/Lombricultura>

Carrillo, L. (2003). Actividad microbiana. Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap3.pdf>

Celaya, H. y Castellanos, A. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: www.redalyc.org/pdf/573/57321283013.pdf

Clavería Cacheo, C. (2005). Estudio de factibilidad para producir harina a partir de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para ser utilizada en la elaboración de concentrados para animales en Guatemala. Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0943_Q.pdf

Domínguez, J., Alira, M. y Gómez-Brandón, M. (2009, Abril). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/61/58>

FAO. (2000). Materia orgánica y actividad biológica. Consultado el 1 de septiembre 2018 ((En red). Disponible en: http://www.fao.org/ag/ca/Training_Materials/CD27-Spanish/ba/organic_matter.pdf

- Gallardo, J. (2001). Mineralización y humificación de la materia orgánica del suelo: Consecuencias sobre la contaminación. . 1 de septiembre 2018 . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/58319/1/Mineralizaci%C3%B3n%20y%20humificaci%C3%B3n%20de%20la%20materia%20org%C3%A1nica%20del%20suelo%20consecuencias%20sobre%20la%20contaminaci%C3%B3n.pdf>
- García, I. (2011). Microorganismos del suelo y sustentabilidad de los agroecosistemas. Revista argentina de microbiología. Vol.43: pág. 1-3
- Higueras, P. (2012). Mineralogía y geoquímica ambiental. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema00_Intro.htm
- Google. (S.F.). Mapa de Cuilapa, Guatemala en GoogleMaps. Consultado el 1 de septiembre 2018. (En red). Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/Cuilapa/@14.2293799,-90.2804673,12306m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x858835562c82bae9:0x662eda1c7e1e5373!8m2!3d14.2772042!4d-90.297229>
- IARNA. (2006). Perfil Ambiental de Guatemala: Informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: http://www.infoiarna.org.gt/dmdocuments/1_pu_pro_per_04-Perfam_2G%20-%20Desechos%20solidos.pdf
- INFOAGRO. (2012). Microorganismos del suelo beneficiosos para los cultivos. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: http://www.infoagro.com/hortalizas/microorganismos_beneficiosos_cultivos.html
- Jaramillo, D. (2006). La biota del suelo. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/documentos/djaramillo/LA%20BIOTA%20DEL%20SUELO.pdf>

- Kalil, S (2007). Seguimiento del proceso de humificación en compost inoculado. Microbiólogo Industrial, Bogotá, Colombia. Universidad Javeriana pág. 89
- Lee Pazos, J. (1990). Determinación de macro y micronutrientes existentes en la pulpa de café sometida a degradación enzimática (stubble digester) para su utilización como abono orgánico. Universidad San Carlos, Facultad de Agronomía, Guatemala.
- MAGA. (2013). Encuesta Nacional Agropecuaria. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <http://web.maga.gob.gt/download/ena-2013.pdf>
- María, S. y Cerrato, F. (2017, marzo 30). Dinámica Poblacional de *Eisenia andrei* en diferentes residuos orgánicos. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <https://chapingo.mx/terra/contenido/20/3/art303-310-pdf>
- Martínez, L. (2004). Efecto de la densidad de la coqueta roja (*Eisenia foetida*), en pulpa de café aspectos productivos y reproductivos. Licenciado en zootecnia. Guatemala, Guatemala, Universidad San Carlos de Guatemala. 42 pág.
- Melendez, G. y Soto, G. (2003). Taller de abonos orgánicos. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Orgánicos.pdf>
- MINECO. (2009). Café Oro y pergamino, (2009) . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <http://uim.mineco.gob.gt/documents/10438/17026/F2.pdf>
- Montoya, S. (2008). Actividad enzimática, degradación de residuos sólidos orgánicos y generación de biomasa útil del micromiceto *Grifola frondosa*. Maestría en ingeniería Química. Caracas, Colombia. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. 64 pág.
- Morales Guzmán, M. S. (2014). Uso de la tierra e intensidad del sistema de producción agrícola en la microcuenca del río Chuiscalera y efectos probables en la dinámica del Lago de Atitlán. Ciudad de Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

Palpa, J. (2017, marzo 30). Efecto del sustrato alimenticio en la composición química y el valor nutritivo de la haría de la lombriz roja (*Eisenia spp*). . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: www.saber.ula.ve/handle/123456789/27401

Perdomo, S. P. (2007). Seguimiento del proceso de humificación del compost inoculado. Facultad De Medicina Veterinaria y Zootecnia, Bogota.

Pérez, C. (2011). Procesan abono de desechos vegetales. Jueves 10 de febrero del 2011 Prensa libre.

Pérez Melendez, L. M. (2004). Evaluacion del efecto de microorganismos efectivos (EM) en diferentes diluciones y frecuencias de voletto sobre la descomposicion de cafe en san miguel dueñas, Sacatepequez. San Carlos de Guatemala, Agronomia, San Miguel Dueñas.

Pineda, J. (2006). Lombricultura, . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red) Disponible en:http://www.pasolac.org.ni/files/publicacion/1175041790_IHCAFE.pdf

Porta Casanellas, J., Lopez Acevedo, M., & Poch Claret, R. (2014). Edafología: uso y protección de suelos. Madrid: Mundi-Prensa.

Restrepo J. (s/f). Caracterización física y química de los frutos del café. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/90.pdf>

Ríos, Y. (2010). Importancia de las lombrices en la agricultura. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponibile en: http://www.rapaluruaguay.org/organicos/Importancia_lombrices_agricultura.pdf

Robles, E. (2013). Producción y Exportación de Café guatemalteco. pp. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en:

<http://www.deguate.com/artman/publish/produccion-guatemala/produccion-y-exportacion-de-cafe-guatemalteco.shtml#.VzdSxccq4y5>.

Rodriguez, A. R. (2000). Producción y Calidad de Abono Orgánico por Medio de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) y su Capacidad Reproductiva. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/agrotech/936/Producción%20y%20Calidad%20de%20Abono.pdf>

Romero, J. (2013). Relación carbono nitrógeno en el proceso de lombricompost y su potencial nutrimental en jitomate y menta. Texcoco : Montecillo.

Sanchez, J. yGloria, V. (2014). Biología del Suelo. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <https://biologiadelsueloscsudea20132.wordpress.com/microbiologia/microflora-del-suelo/bacterias/>

Sicaju Lopez, R. (2012). El Beneficiado Del Fruto, Degradación De La Pulpa De Café Y Mineralización De Residuos De Sombra En El Cultivo De Café. Universidad San Carlos, Facultad de Agronomía, Guatemala

Universidad de la Republica. (2010). El suelo como hábitat: Organismos vivos del suelo. Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Organismos%20del%20suelo.pdf>

Varnero, M. T. (2007). Diversidad de especies: Bacterias en ambiente terrestre. . Consultado el 1 de septiembre 2018 (En red). Disponible en: http://www.mma.gob.cl/librobiodiversidad/1308/articles-45207_recurso_4.pdf

Vázquez V., K. (2016). Evaluación de la eficiencia de biotransformación de la pulpa de café caturra a compost, utilizando microorganismos efectivos (EM) y la lombriz coqueta roja

(*Eisenia Foetida*), bajo las condiciones de Cobán, Alta Verapaz. Universidad San Carlos ,
Gestion Ambiental, Guatemala

Vento, M. (2000). Estudio sobre la preparación del compost estático y su calidad. Master en
Fertilidad del Suelo. Cuba. Universidad de Camagüey 55 pág.

Entrevista:

Giron, J. (2017). *Entrevista*. Guatemala. Jefe de invetigacion de la regin IV de ANACAFE

10. Anexos

1. Resumen de resultados de análisis de laboratorio

No	TRATAMIENTO	REPETICIONES						Total	Promedio
		I	II	III	IV	V	VI		
1	Lombricompost	42.10	41.70	43.00	46.80	47.20	47.90	268.70	44.78
2	Bio degradador	52.10	47.50	48.10	48.70	49.10	49.10	294.60	49.10
3	Testigo	49.30	49.10	48.30	45.30	48.20	48.00	288.20	48.03
	Total	143.50	138.30	139.40	140.80	144.50	145.00	851.50	47.31
		47.83	46.10	46.47	46.93	48.17	48.33		

2. Detalle de resultado de análisis de laboratorio (tratamiento testigo)

		%					ppm						%	
pH	*C/N	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	Azufre	Boro	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	*C.O.	*M.O.
7.3-9.1	9.5-16.5	0.8-2.8	0.3-1.7	0.5-1.9	0.8-6.9	0.4-1.4	10-100	1-5	8.9-35.9	1470-9123	58-997	23-180	11-34	37-78
8.48	9.62	4.62	0.40	3.65	1.94	0.53	0.40	74.80	41.93	3,995.00	233.80	40.11	44.44	80.00
8.20	10.21	4.57	0.42	3.10	1.93	0.51	0.41	73.48	45.98	3,420.00	225.70	30.92	46.67	84.00
8.45	10.90	4.28	0.43	3.87	1.94	0.49	0.38	71.68	39.99	2,793.00	208.70	31.65	46.67	84.00
8.23	10.74	4.19	0.41	3.04	1.91	0.50	0.38	72.71	41.85	3,714.00	237.50	34.52	45.00	81.00
8.21	11.68	4.09	0.39	3.01	1.87	0.48	0.31	73.97	43.95	2,846.00	192.00	28.44	47.78	86.00
8.02	11.24	4.25	0.41	3.16	1.96	0.52	0.31	73.89	45.04	3,254.00	216.60	31.06	47.78	86.00

3. Detalle de resultado de análisis de laboratorio (tratamiento con BioRegen®)

		%					ppm						%	
pH	*C/N	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	Azufre	Boro	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	*C.O.	*M.O.
7.3-9.1	9.5-16.5	0.8-2.8	0.3-1.7	0.5-1.9	0.8-6.9	0.4-1.4	10-100	1-5	8.9-35.9	1470-9123	58-997	23-180	11-34	37-78
9.16	9.87	1.07	0.28	1.06	0.69	0.18	0.12	110.60	11.87	15,340.00	247.10	43.93	10.56	19.00
9.28	12.29	1.04	0.20	1.13	0.62	0.17	0.15	105.60	11.24	14,460.00	258.40	29.53	12.78	23.00
9.31	9.97	2.23	0.30	2.15	1.49	0.42	0.23	99.60	18.19	11,750.00	284.50	27.51	22.22	40.00
9.15	10.93	1.83	0.25	1.39	1.12	0.29	0.18	101.60	14.91	12,560.00	277.60	28.19	20.00	36.00
9.30	9.46	1.41	0.21	1.08	0.79	0.23	0.14	113.70	11.68	15,310.00	297.80	29.69	13.33	24.00
9.44	11.48	1.21	0.23	1.48	1.00	0.28	0.17	111.10	21.74	14,060.00	283.90	28.94	13.89	25.00

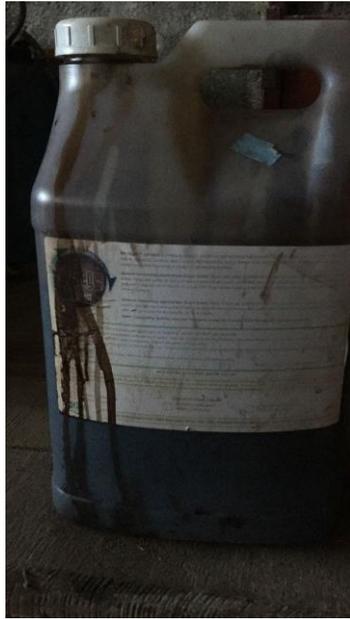
4. Detalle de resultado de análisis de laboratorio (tratamiento con lombriz: *Eisenia foetida*)

pH	*C/N	%					ppm						%	
		N	P2O5	K2O	CaO	MgO	Azufre	Boro	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	*C.O.	*M.O.
7.3-9.1	9.5-16.5	0.8-2.8	0.3-1.7	0.5-1.9	0.8-6.9	0.4-1.4	10-100	1-5	8.9-35.9	1470-9123	58-997	23-180	11-34	37-78
10.07	8.72	2.74	0.52	5.22	1.86	0.49	0.37	103.60	32.40	7,357.00	231.70	44.24	23.89	43.00
8.98	10.39	1.39	0.33	2.21	1.12	0.27	0.24	77.01	24.48	8,529.00	236.40	62.13	14.44	26.00
10.27	10.57	2.05	0.49	4.85	1.68	0.46	0.33	96.89	27.49	7,729.00	223.30	43.85	21.67	39.00
10.18	8.36	2.79	0.52	5.66	1.89	0.51	0.41	102.60	29.73	7,780.00	259.00	45.39	23.33	42.00
10.06	8.75	2.54	0.52	5.95	1.89	0.48	0.43	100.60	28.04	7,540.00	252.90	42.10	22.22	40.00
9.78	9.97	1.56	0.48	3.90	1.57	0.40	0.34	93.74	33.49	8,911.00	241.60	46.56	15.56	28.00

5. Resultado de análisis Nutricional

No.	Identificación de la Muestra	pH	*C/N	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	*C. O.	*M. O.	Ceniza
	Niveles adecuados	7.3-9.1	9.5-16.5	0.8-2.8	0.3-1.7	0.5-1.9	0.8-6.9	0.4-1.4	8.9-35.9	1470-9123	58-997	23-180	11-34	37-78	21-62
1	Lombricompost	9.89	11.56	1.49	0.23	0.31	1.74	1.36	0.75	472.40	14.50	1.20	17.22	31.00	69.00
2	Tratamiento	8.40	9.15	3.52	0.85	0.67	0.48	0.22	16.07	2370.00	105.90	7.66	32.22	58.00	42.00
3	Testigo	9.60	10.17	2.95	1.69	0.53	0.40	0.19	7.29	1712.00	185.10	7.84	30.00	54.00	46.00

6. Registro fotográfico



Producto Bio Regen®



Medicion de peso de cada tratamiento