

EVALUACIÓN DE DOS MÉTODOS DE COMPOSTAJE COMO ALTERNATIVA DE
MANEJO DE EQUINAZA, SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA *Brachiaria humidicola*
EN CAMPO ECOLÓGICO GRAMALOTE

LEIDY VICTORIA MACHUCA PÉREZ
ANYELA MARIANA MUÑOZ PERDOMO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

EVALUACIÓN DE DOS MÉTODOS DE COMPOSTAJE COMO ALTERNATIVA DE
MANEJO DE EQUINAZA, SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA *Brachiaria humidicola*
EN CAMPO ECOLÓGICO GRAMALOTE

LEIDY VICTORIA MACHUCA PÉREZ
ANYELA MARIANA MUÑOZ PERDOMO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director
CÉSAR AUGUSTO RIVEROS ROMERO
Ingeniero Agrónomo cMSc

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

Autoridades académicas

P. JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMACA, O. P

Rector General

P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO, O.P

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P

Rector Sede Villavicencio

P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de Facultad

CÉSAR AUGUSTO RIVEROS ROMERO

Director Trabajo de Grado

HENRY CONTRERAS LEÓN

Jurado

CHRISTIAN JOSÉ ROJAS REINA

Jurado

Villavicencio, junio 2018

No ha sido un camino fácil, sin embargo, gracias a su constante ayuda, amor e incondicionalidad, he logrado superarme a lo largo de estos cinco años con mucho esfuerzo y la fe intacta en Dios. Infinitamente agradecida con ustedes, mamá y papá; por exigirme día a día y llevarme a encontrar la mejor versión de mi misma.

A mi hermano, por ser mi mayor inspiración en este proceso profesional; por sembrar en mí todas las ganas de luchar por mis sueños e inculcarme a ser como él, la mejor en lo que hace.

Todo que agradecerte abuelita, infinitas gracias por sentir mis logros y tristezas, tan propiamente, por todo tu cariño y por nunca dejar de recordarme que antes que nada hay que ser persona; finalmente, a mi más grande fan desde siempre, mi abuelo.

Leidy Victoria.

A Dios, por no dejarme desfallecer aún en momentos difíciles y permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida; a mi padre por su esfuerzo constante y por dar todo de sí para nuestro bienestar, a pesar de nuestra distancia física pasajera te siento conmigo siempre; a mi madre por ser el pilar más importante y pese a nuestras diferencias por ser mi apoyo más grande en el mundo, a mi abuelita por su dedicación y cariño; a mi hermana por ser mi motivación diaria. Familia, esto es por y para ustedes.

Anyela Mariana.

Agradecimientos

Este proyecto, más que la culminación de un proceso académico, engloba historias, amigos, batallas y una que otra derrota, por ello, le agradecemos a Dios por permitirnos cumplir el primero de muchos logros en nuestra vida, a todos nuestros compañeros y amigos producto de esta linda experiencia, quienes de una u otra forma aportaron en nuestra formación.

Agradecemos a la Universidad Santo Tomás y los profesores que intervinieron en la construcción de nuestros conocimientos; al Ing. César Riveros, director de esta investigación, por su exigencia, paciencia, dedicación y empeño en todas sus asesorías, mil gracias.

A nuestras familias, por convertirse en una sola en el transcurso de estos años, brindándonos todo su apoyo y amor.

Finalmente, un agradecimiento muy especial y de corazón al Señor/a Jaime Echeverri y María del Pilar Bastidas, directivos de Campo Ecológico Gramalote; por acogernos como parte de su familia y creer en nosotras ciegamente, gracias por tanto apoyo y confianza, los queremos y respetamos mucho.

Tabla de Contenido

Resumen	12
Introducción	14
1. Planteamiento del Problema.....	15
1.1. Descripción del problema.....	15
1.1.1. Formulación del problema	16
1.2. Objetivos	16
1.2.1. Objetivo general	16
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación.....	17
1.4. Alcance.....	18
1.4.1. Delimitación espacio-temporal	18
2. Fundamentación teórica	20
2.1. Antecedentes	20
2.2. Marco de Referencia.	23
2.2.1. Marco Teórico.	23
2.2.2. Marco conceptual.	24
2.2.3. Marco legal.....	27
3. Procesamiento metodológico	30
3.1. Recolección de información primaria	31
3.2. Fase I: Implementación de los métodos de compostaje	31
3.3. Fase II. Identificación de los parámetros físico-químicos del abono	33
3.3.1. Toma de muestras.....	33
3.3.2. Determinación de parámetros físico-químicos en laboratorio.	33
3.4. Fase III. Efecto de la aplicación del abono sobre la producción del pasto.	36

3.4.1. Rendimiento del pasto (altura y peso).....	37
3.5. Fase IV. Recomendaciones de manejo.....	38
4. Resultados y análisis.	39
4.1. Diagnóstico de la situación actual.	39
4.1.1. Cuantificación	41
4.2. Implementación de los métodos de compostaje.	42
4.2.1. Compostaje.....	43
4.2.2. Vermicompostaje	45
4.3. Identificación de parámetros físico-químicos	46
4.3.1. Parámetros compostaje.....	47
4.3.2. Parámetros vermicompostaje.	55
4.3.3. Análisis de parámetros físico-químicos.	63
4.4. Efecto del abono sobre la producción de biomasa del pasto.....	64
4.4.1. Altura y peso.	67
4.4.2. Análisis del efecto de aplicación del abono sobre el pasto.	70
4.5. Recomendaciones de manejo del residuo equinaza	71
5. Conclusiones	75
6. Discusión.....	76
7. Bibliografía.....	78
8. Anexos.....	85

Listado de Figuras

<i>Figura 1.</i> Ubicación geográfica Campo Ecológico Gramalote.....	19
<i>Figura 2.</i> Pasto <i>Brachiaria humidicola</i>	26
<i>Figura 3.</i> Ubicación y estructura física del área experimental de los modelos piloto.	32
<i>Figura 4.</i> Dimensiones de las estructuras de los modelos piloto.....	33
<i>Figura 5.</i> Diseño experimental para la aplicación del abono sobre el pasto.....	36
<i>Figura 6.</i> Distribución de las unidades experimentales y procedimiento para la toma de muestra de los individuos <i>B. humicola</i>	37
<i>Figura 7.</i> Ciclo productivo de CEG- Gestión de los RSO.....	39
<i>Figura 8.</i> Punto crítico acumulación equinaza.....	40
<i>Figura 9.</i> Producción mensual de RSO en campo Ecológico Gramalote.	42
<i>Figura 10.</i> Montaje tratamientos método de compostaje.....	43
<i>Figura 11.</i> Adecuación de estructuras de los tratamientos de compostaje.	44
<i>Figura 12.</i> Muestras finales de los tratamientos de compostaje.	44
<i>Figura 13.</i> Montaje tratamientos de vermicompostaje	45
<i>Figura 14.</i> Muestras finales métodos de vermicompostaje.....	46
<i>Figura 15.</i> Relación temperatura y pH en tratamientos de compostaje	47
<i>Figura 16.</i> Contenido de macronutrientes N, K, tratamientos de compostaje	51
<i>Figura 17.</i> Relación temperatura y pH tratamientos de vermicompostaje	56
<i>Figura 18.</i> Contenido de macronutrientes en tratamientos de vermicompostaje.....	59
<i>Figura 19.</i> Individuo <i>Brachiaria humidicola</i> - media establecida en todas las unidades experimentales.....	66
<i>Figura 20.</i> Gráfica de medias - efecto de los tratamientos sobre el peso del pasto.	68
<i>Figura 21.</i> Diagrama de dispersión entre peso y altura del pasto.	68
<i>Figura 22.</i> Gráfica de medias - Relación de altura entre tratamientos.	70
<i>Figura 23.</i> Medidas y estructura propuesta para cama vermicompostera.....	73

Listado de Tablas

Tabla 1. Normatividad legal vigente.	27
Tabla 2 . <i>Composición de los tratamientos implementados.</i>	32
Tabla 3. <i>Metodología para la toma de parámetros físico-químicos.</i>	34
Tabla 4. <i>Cantidad de residuos sólidos orgánicos generados semanalmente en CEG.</i>	41
Tabla 5. <i>Parámetros físico-químicos de los tratamientos del método de compostaje.</i>	48
Tabla 6. <i>Prueba de medias en niveles de pH y temperatura en el método de compostaje.</i>	49
Tabla 7. <i>Contenidos de humedad para tratamientos del método de compostaje.</i>	49
Tabla 8. <i>Prueba de medias para contenidos de humedad en el método de compostaje.</i>	50
Tabla 9. <i>Contenido de nitrógeno en los tratamientos del método de compostaje.</i>	52
Tabla 10. <i>Contenido de potasio en los tratamientos del método de compostaje.</i>	52
Tabla 11. <i>Prueba de medias para contenidos de macronutrientes en el método de compostaje...</i>	53
Tabla 12. <i>Densidad real, aparente y porosidad tratamientos del método de compostaje.</i>	53
Tabla 13. <i>Parámetros físico-químicos de los tratamientos del método de compostaje.</i>	55
Tabla 14. <i>Prueba de medias en niveles de pH y temperatura en el método de vermicompostaje.</i>	57
Tabla 15. <i>Contenido de humedad en los tratamientos del método de vermicompostaje.</i>	58
Tabla 16. <i>Prueba de medias para contenidos de humedad en el método de vermicompostaje.</i>	58
Tabla 17. <i>Contenido de nitrógeno en los tratamientos del método de vermicompostaje.</i>	60
Tabla 18. <i>Contenido de K en los tratamientos del método de vermicompostaje.</i>	61
Tabla 19. <i>Prueba de medias para contenidos de macronutrientes en el método de vermicompostaje.</i>	61
Tabla 20. <i>Densidad real, aparente y porosidad tratamientos del método de vermicompostaje....</i>	62
Tabla 21. <i>Parámetros físico-químicos del abono orgánico óptimo.</i>	64
Tabla 22. <i>Resultados efecto del abono sobre la producción de biomasa.</i>	65
Tabla 23. <i>Estadísticos descriptivos variables altura y peso del pasto.</i>	66
Tabla 24. <i>Cálculo de ANOVA.</i>	67
Tabla 25. <i>Prueba T- student de medias para altura y peso del pasto.</i>	69
Tabla 26. <i>Recomendaciones de manejo del material orgánico</i>	71

Listado de Ecuaciones

<i>Ecuación 1.</i> Cálculo del contenido de humedad del suelo.....	34
<i>Ecuación 2.</i> Cálculo de la porosidad en el suelo.....	34
<i>Ecuación 3</i> Cálculo de la densidad aparente.	35
<i>Ecuación 4</i> Cálculo de densidad Real mediante el método del picnómetro.	35

Listado de Anexos

<i>Anexo 1. Estrategia de disposición de los Residuos Sólidos Inorgánicos.</i>	<i>85</i>
<i>Anexo 2. Capacitación a personal CEG- residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.</i>	<i>86</i>
<i>Anexo 3. Prueba de Tukey para efecto de aplicación entre tratamientos vs altura del pasto.</i>	<i>87</i>
<i>Anexo 4. Formato de pesaje residuos sólidos.</i>	<i>88</i>
<i>Anexo 5. Certificado de Requisito para la operación de actividades de Cabalgata en turismo de Aventura.</i>	<i>89</i>

Resumen

El almacenamiento, transporte y disposición de la equinaza se ha identificado como problemática en el sector turístico, específicamente en la prestación del servicio de cabalgata y actividades ecuestres; a continuación, se plantean los resultados obtenidos en la evaluación de las técnicas de compostaje y vermicompostaje a escala piloto, como alternativa de manejo de equinaza, sobre el producción de biomasa *Brachiaria humidicola* en Campo Ecológico Gramalote en Restrepo-Meta. Se establecieron 4 tratamientos, más el testigo; T1 (4 kg equinaza + 1 kg material orgánico vegetal) y T2 (4 kg equinaza + 2,5kg material orgánico vegetal); T3 (4 kg equinaza + 1 kg lombriz) y T4 (4 kg equinaza + 2 kg lombriz). Los T1 y T2 pertenecientes al compostaje; T3 y T4 al vermicompostaje; mediante una prueba de T-student, se identificaron diferencias significativas entre tratamientos, teniendo en cuenta como variables regresoras pH, temperatura, contenidos de nitrógeno, potasio y humedad; posterior a ello se evaluó con un estadístico de Tukey el efecto de aplicación de los abonos obtenidos sobre la producción de pasto *Brachiaria humidicola*, a una vía de clasificación de efectos fijos con una dosificación de 300 g/m² en nueve unidades experimentales; como resultado, pese a que todos los tratamientos presentaron características superiores al testigo en las variables físico-químicas analizadas, el T4 registró índices óptimos de calidad para pH (6,8), temperatura (28°C), humedad (55%), N (0,91%) y K (0,84%) y a su vez se resaltó como el mejor tratamiento para la producción de biomasa con una media de altura de 21,83 cm a comparación del testigo (sin abono) que registró medias de 13,92 cm.

Palabras clave: Abonos orgánicos, equinaza, gestión de residuos sólidos orgánicos, rendimiento de pasto.

Abstract

The storage, transport and disposal of the horse manure has been identified as problematic in the tourism sector, specifically in the provision of the service of horseback riding and equestrian activities; the results obtained in the evaluation of the composting and vermicompost techniques hereby are present on a pilot scale, such as horse manure management alternative, on the yield of *Brachiaria humidicola* biomass at the “Campo Ecológico Gramalote” in Restrepo-Meta. Differents4 treatments there established, plus the control; T1 (4 kg horse manure + 1 kg vegetable organic material) and T2 (4 kg horse manure + 2,5 kg vegetable organic material); T3 (4 kg horse manure + 1 kg earthworm) and T4 (4 kg horse manure + 2 kg earthworm). The T1 and T2 belonging to the composting; T3 and T4 to the vermicompostaje. Using a T-Student test, were identified significant differences between treatments, taking into account variables as answer pH, temperature, contents of nitrogen, potassium and moisture; after that it was evaluated with a statistician Tukey Test the application effect of the fertilizers obtained on the production of *Brachiaria humidicola* grass, a fixed effects classification pathway with a dosage of 300 g/m² in nine experimental units; as a result, despite the fact that that all treatments presented superior characteristics to the witness in physical and chemical variables analyzed, the T4 register optimum quality indices for pH (6,8), temperature (28°C), moisture (55%), N (0,91%) and K (0,84%). Therefore, is highlighted as the best treatment for biomass production with an average height of 21,83 cm compared to control (without fertilization) which obtained averages of 13,92 cm.

Keywords: Organic fertilizers, horse manure, organic solid waste management, pasture performance.

Introducción

Los llanos Orientales colombianos, se consolidan como uno de los destinos turísticos más atractivos para sus visitantes debido a su variedad de lugares y paisajes exóticos (Batioja & Tovar, 2017); motivo por el cual el crecimiento turístico guarda relación directa con la generación de residuos e impactos adversos en el ambiente; un turista produce hasta dos veces más desechos que un residente (Junco, 2015; EDESA S.A ESP, 2015).

En este contexto, el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES 3874, 2016) relacionó el 61,5% de la generación de residuos a residuos sólidos orgánicos (RSO), relacionando impactos al medio ambiente debido a su alta tasa de descomposición y complejidad de manejo (Ramírez & Sarria, 2009); manifestando la necesidad de controlar desde su generación, técnicas o mecanismos que reincorporen y aprovechen estos residuos hasta el final de su vida útil, como parte de un nuevo ciclo productivo.

Los métodos de aprovechamiento de RSO, reducen los índices de contaminación ambiental y paisajística de sitios turísticos, reciclando el material orgánico proveniente de los desechos mediante compostaje tradicional o por un agente de degradación biológica: lombriz de tierra (Arévalo, 2017); descomposición de la materia orgánica a través de condiciones controladas para la producción de abono orgánico (ICA, 2015).

El desarrollo de actividades de cabalgata como parte del atractivo turístico de los Llanos Orientales, es reflejado en el sector económico y ambiental de los lugares donde se realiza; resaltando impactos nocivos al ambiente y aquellos relacionados a la salud pública, de acuerdo al control, manejo y disposición de la equinaza.

La realización de este proyecto, tiene como objeto reincorporar la equinaza al ciclo productivo de Campo Ecológico Gramalote, empresa eco-turística; implementando técnicas piloto de compostaje y vermicompostaje, evaluando la calidad del abono producido sobre el rendimiento del pasto *Brachiaria humidicola*; determinando la metodología conveniente para ejecutar a gran escala.

1. Planteamiento del Problema

1.1. Descripción del problema

El uso ecuestre y actividades de cabalgata de aventura en Colombia, se ha establecido como fuente de ingresos y empleo en las economías locales (Machicado *et al.*, 2013), sin embargo, los costos ambientales vinculados a la prestación de este servicio producen desechos contaminantes como la equinaza, la cual afecta directamente el recurso agua, suelo y aire, además de acarrear daños a la salud humana y animal, si no se maneja adecuadamente (Shere, 2012).

La falta de gestión de estos RSO, hace imperativo ejercer prácticas de sostenibilidad relacionadas al control, almacenamiento y transporte de la equinaza, haciendo directamente responsable a los propietarios y administrativos de las entidades que prestan el servicio.

En el municipio de Restrepo, Meta se ubica el Campo Ecológico Gramalote (CEG) como agencia operadora de turismo con una demanda aproximada de 25 visitantes/día, para actividades de cabalgata, cantidad ligada a la generación de equinaza; presentando un punto de acopio incorrecto que ocupa alrededor de 16 m³, dado que la entidad no tiene un proceso de gestión adecuado para este.

La disposición actual de equinaza en CEG ha ocasionado impactos relacionados a la contaminación paisajística y la propagación de poblaciones microbianas que inciden nocivamente en la salud humana y animal; por otro lado, eleva las concentraciones de nitratos y materia orgánica presentes en el suelo, produciendo cambios en su equilibrio, alterando su calidad y modificando la estructura del mismo (Rodríguez, 2002).

Finalmente, se destaca la generación de olores y los costos asumidos para el transporte de la equinaza desde su punto de acopio hasta los potreros aledaños de la propiedad.

1.1.1. Formulación del problema

Los métodos de aprovechamiento del material orgánico, se han hecho esenciales en la industria eco-turística por ello, es necesario tener en cuenta las consideraciones básicas para ejecutar correctamente cualquier tipo de estrategia y lograr minimizar costos ambientales y económicos que se asumen con la presencia de este tipo de residuo.

En esta investigación, se propusieron dos métodos de compostaje como estrategia de aprovechamiento de RSO del ganado equino en el sector turístico de los Llanos Orientales colombianos (Restrepo, Meta). Para ello fue de gran importancia establecer los sustratos adecuados para cada método de aprovechamiento, que en términos de tiempo y calidad (evaluación de parámetros físico-químicos) evidenciara un efecto positivo sobre la producción (biomasa) de pasto *Brachiaria humidicola*, y así llegar a establecer el método adecuado a implementar en el sector para el aprovechamiento de equinaza.

Respecto a lo anterior se plantearon las siguientes hipótesis: ¿cómo difiere la calidad del abono obtenido entre métodos, como respuesta a los 4 tratamientos establecidos más el testigo; T1 (4 kg equinaza + 1 kg material orgánico vegetal) y T2 (4 kg equinaza + 2,5kg material orgánico vegetal); T3 (4 kg equinaza + 1 kg lombriz) y T4 (4 kg equinaza + 2 kg lombriz); según sus parámetros físico-químicos?; y ¿el efecto de aplicación de los diferentes tratamientos sobre la producción del pasto es evidente en términos de altura y peso, en una empresa eco-turística de prestación de servicios de cabalgata durante un periodo de 8 meses?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar dos métodos de compostaje como alternativa de manejo de los residuos sólidos orgánicos de equinos, sobre la producción de biomasa *Brachiaria humidicola* en Campo Ecológico Gramalote, Restrepo-Meta.

1.2.2. Objetivos específicos

- Desarrollar dos métodos piloto comparativos de compostaje para darle manejo a los residuos sólidos orgánicos de equinos en Campo Ecológico Gramalote.
- Identificar los parámetros físico-químicos del compost producto del proceso de degradación de los dos métodos de compostaje propuestos para el manejo de los residuos sólidos orgánicos de los equinos.
- Evaluar el uso del compost obtenido de los diseños piloto en la producción de pasto (biomasa) *Brachiaria humidicola*.
- Proponer recomendaciones de manejo del residuo orgánico del ganado equino, minimizando los impactos adversos directos e indirectos que se puedan estar generando en el entorno.

1.3. Justificación

En el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipal de Restrepo, Meta; existe debilidad en la implementación de estrategias de aprovechamiento de los RSO, a nivel turístico (EDESA S.A ESP, 2015); así, se hace evidente el planteamiento de una propuesta de gestión sostenible que permita aprovechar y reincorporar la equinaza, beneficiando el ciclo productivo de las empresas de servicios turísticos de cabalgata y minimizando los impactos adversos que se desprenden del mismo.

El correcto almacenamiento y aprovechamiento de la equinaza, parte de un plan de gestión que garantice éste sea positivo en el medio ambiente, evitando que haya contaminación y molestias públicas; un manejo responsable evitaría daños considerables como el crecimiento de malezas, escorrentía y afectación en los cuerpos de agua cercanos (Simpson, 2009); de este modo es fundamental desarrollar prácticas de reúso utilizando este residuo como recurso (AECID, 2015).

Las acciones propuestas en esta investigación, implican desarrollar dos métodos piloto de compostaje (compostaje y vermicompostaje) en CEG utilizando diferentes tratamientos a base de

equinaza para la producción de abono orgánico, evaluando su calidad a través de pruebas físico-químicas y sobre la producción (biomasa) del pasto.

De esta manera, se busca cumplir lo propuesto en la Norma Técnica Sectorial de Turismo-Turismo Sostenible, (NTS-TS 003, 2016) la cual tiene por objeto encontrar un equilibrio entre los aspectos ambientales y económicos del desarrollo turístico, garantizando su sostenibilidad a largo plazo; y la Norma Técnica Sectorial de Operación de Cabalgatas de Aventura (NTS-AV 014, 2015), que establece la creación de políticas propias de la actividad, ligadas al cuidado y conservación del medio ambiente natural; estableciendo un compromiso directo con las actividades, productos y servicios que allí se ofertan; beneficiando a la entidad con la implementación y posterior certificación de estas normas técnicas, el aprovechamiento adecuado de la equinaza y la producción sostenible, apostándole a la reducción de desechos.

1.4. Alcance

1.4.1. Delimitación espacio-temporal

Los Llanos Orientales Colombianos, abarcan parte de los Departamentos de Casanare, Caquetá y Meta; el desarrollo turístico se ha localizado en cercanías de la capital metense, donde la vía que conduce al municipio de Restrepo, en la vereda Puente Amarillo se encuentra CEG (N 4°11'53.84''; O 53°45'28.86''), entidad de servicios eco-turísticos rodeada de extensas tierras ricas en flora y fauna, que tiene como actividad principal el turismo de aventura, específicamente el desarrollo de actividades de cabalgata de observación por la zona; donde se pretende llevar a cabo este proyecto de investigación en un periodo de 8 meses (ver Figura 1).

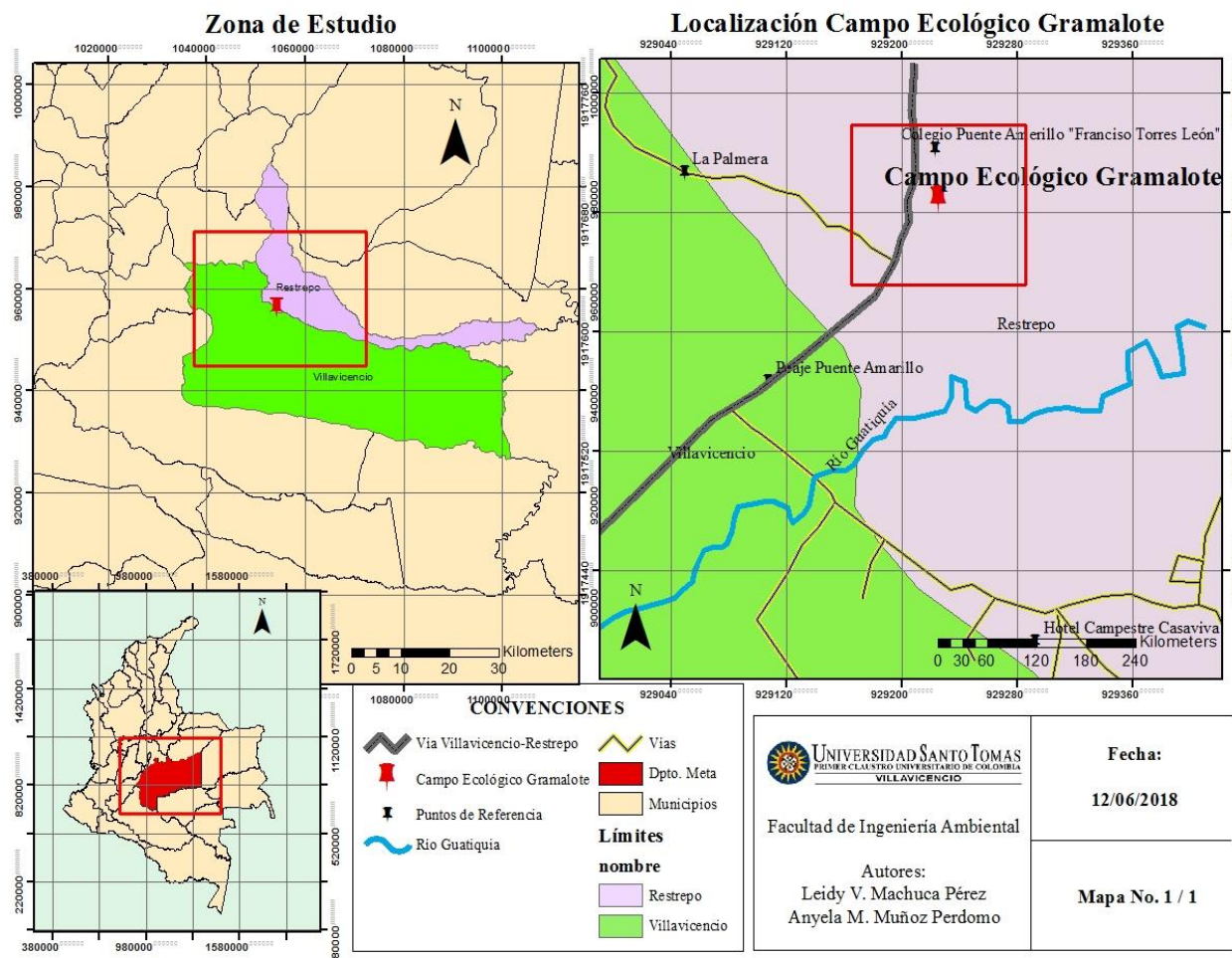


Figura 1. Ubicación geográfica Campo Ecológico Gramalote. Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

Elaborado con software ArcGis 10.2.

2. Fundamentación teórica

2.1. Antecedentes

El uso de estiércol animal, restos de material vegetal y otras fuentes de material orgánico para la generación de abono, ha vuelto imperativo el desarrollo de prácticas de gestión de “residuos sólidos” orgánicos (RSO) en áreas rurales, especialmente en el sector turístico (Hernández *et al.*, 2010); en busca del mejoramiento de la prestación de sus servicios, han adoptado tecnologías biológicas como el compostaje y vermicompostaje; consideradas como limpias con el fin de reducir, prevenir, almacenar, tratar, disponer (UNAL, 2014); según Lim, *et al.* (2015), ambas metodologías degradan varios tipos de RSO, destacando que la implementación de vermicompostaje reduce las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la aireación intermitente, los agentes de carga y la abundancia de lombrices, concluyendo ambas prácticas como viables, económica y ambientalmente.

En España, Lazcano *et al.* (2008), desarrollaron una comparación entre el proceso de estabilización biológica del estiércol del ganado bovino, mediante las técnicas de compostaje, vermicompostaje y una mezcla de ambos, con el fin de reducir los impactos asociados al almacenamiento de este residuo en instalaciones industriales; se analizó el grado de descomposición a corto plazo y la composición del abono resultante por cada técnica, identificando que ninguno de los dos redujo los contenidos de nitrógeno (N) y carbono (C), con relación al control, por lo que finalmente los autores propusieron un tiempo de estabilización a largo plazo y concluyeron que la técnica que asemejó un mejor grado de descomposición fue la mezcla de ambos, promoviendo la retención de N.

Campos, (2010) apoyado de la Escuela Politécnica del Chimborazo, presentó una investigación en Riobamba-Ecuador; evaluó el efecto de aplicación de abonos orgánicos: humus, bokashi, vermicompost y casting sobre el comportamiento de *Brachiaria brizanta*, en contraste con un control (sin abono orgánico); estableció diferencias significativas entre los tratamientos planteados, mediante un estadístico de Tukey e identificó diferencias del 94,11% en el

comportamiento del pasto con la aplicación del humus y una producción forrajera superior con la aplicación del vermicompost. La adición del abono logró reducir los niveles de pH y humedad en el suelo, arrojando medias de altura de 65,39 cm para las unidades experimentales vinculadas al vermicompost.

En 2011, Bonifaz, efectuó una evaluación durante 4 meses en Ecuador, acerca del efecto de 4 tratamientos (dosis) de humus de lombriz sobre *Brachiaria decumbens* mediante un diseño de bloques al azar, asumiendo como variables regresoras el forraje, altura, cobertura basal y cobertura aérea. Luego del primer mes, no encontró diferencias estadísticas significativas en ninguno de los tratamientos, sin embargo, los siguientes 30 días, logró identificar diferencias en el T3 con una dosis de aplicación 12 ton/ha sobre el crecimiento del pasto.

En un contexto nacional, para Colombia; Sánchez, A. (2008) llevó a cabo un estudio investigativo en la ciudad de Bucaramanga respecto a la elaboración, caracterización y comparación de abonos orgánicos a base de equinaza, bovinaza y control por triplicados; de este modo, analizó los contenidos de nitrógeno (N) y potasio (K), teniendo en cuenta variables respuesta como humedad, arado, niveles de pH, temperatura, materia orgánica, etc.; finalmente Sánchez concluyó que los abonos obtenidos a partir de equinaza y bovinaza presentaron altos contenidos de materia orgánica y mejores características en las variables analizadas respecto al control, sin embargo, la bovinaza tuvo mayor rendimiento de producción en las cosechas de suelos abonados con este, debido a su rápida elaboración y alto contenido de nutrientes.

Otro estudio de caso, en Bogotá (Ortiz, 2010), evaluó el efecto de fertilizantes orgánicos: humus de lombriz, té de compost y un fertilizante químico: caldo súper cuatro, sobre el crecimiento y rendimiento del frijol; mediante un análisis de varianza se establecieron diferencias entre los fertilizantes de 1.8%, siendo las plantas pertenecientes al abonado con humus de lombriz, las que presentaron mejor rendimiento respecto al número de folios al final del muestreo, seguido de las plantas abonadas con caldo súper cuatro y té de compost. Para concluir, el autor afirmó que los resultados obtenidos se deben al alto requerimiento nutricional del frijol (N, K), estableciendo que con la aplicación del humus de lombriz en cultivos agrícolas las plantas presentaron altos contenidos de materia orgánica, favoreciendo el crecimiento vegetal.

En Dagua-Valle del Cauca, Vallejo (2011) llevó a cabo una investigación que evaluó bajo condiciones de invernadero el efecto que tiene la fertilización orgánica e inorgánica, en cultivos de frijol Cargamanto rojo en suelos inceptisol sobre la microcuenca La Centella. Se realizaron 4 tratamientos: fertilización orgánica (5 Ton/Ha de lombricompost), fertilización inorgánica (300 Kg/ha de 10-30-10), fertilización orgánica e inorgánica (5 ton/Ha de lombricompost más 300 Kg/ha de 10-30-10), y testigo sin fertilización. Para la evaluación se realizó un DCA (Diseño completamente al azar), de 4x3, es decir con cuatro tratamientos y tres repeticiones para cada uno. Posterior a la realización de propiedades químicas, biológicas, fisiológicas y de producción, se evidenció que el sistema de fertilización mezclado es decir orgánico más inorgánico, presentó mejor respuesta en cuanto a las variables Carbono Orgánico (5.47%), longitud del tallo de la planta (161 cm), y en el rendimiento del cultivo (352 Kg/ha)

La Universidad del Cauca, desarrolló un proyecto al nororiente del municipio de Popayán (Muñoz, *et al.* 2015), el cual tuvo como objeto evaluar abonos orgánicos provenientes de residuos de cosecha de áreas rurales, T1: gallinaza, pulpa de café, troncho de plátano y T2: residuos de plazas de mercado, a través de la implementación de pilas de compostaje. Posterior a su implementación, se analizó el contenido de nutrientes mediante pruebas físico-químicas y se aplicó el abono obtenido en cultivos de lechuga y repollo como fertilizante mediante un diseño completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones más el control, finalmente la aplicación del abono mejoro el pH del suelo, el contenido de materia orgánica y se resaltaron como fuentes ricas de K y P (T1) y de N (T2), así mismo se logró concluir que los materiales utilizados para la producción de abono orgánico influyen en las propiedades físico-químicas y sobre la producción de los cultivos.

Finalmente, a nivel regional en el departamento del Caquetá (Sánchez D *et al.*, 2013), llevaron a cabo un estudio de evaluación del desempeño agronómico de dos variedades de arroz utilizando como fertilizante triple 15, lombrihumus de equinaza, lombrihumus de bovinaza y testigo absoluto, a través de un diseño experimental 2x4 por triplicados completamente al azar; algunos de los indicadores analizados fueron altura, longitud y rendimiento, estableciendo diferencias significativas mediante un estadístico de Tukey. El mejor desempeño fue el arroz fertilizado con

triple 15, con un promedio de altura de 63,25 cm, longitud de 23,24 cm y rendimiento de 5,863 Kg.hm⁻², seguido del lombrihumus con 57,01 cm; 20,27 y 4,327 Kg.hm⁻², respectivamente.

2.2. Marco de Referencia.

2.2.1. Marco Teórico.

Para el aprovechamiento de los RSO, es indispensable llevar a cabo la degradación de la materia orgánica; proceso en el que se liberan nutrientes en exceso dentro del suelo, para disponibilidad de las plantas a través de la descomposición química de los compuestos; durante este proceso intervienen microorganismos y organismos del suelo los cuales degradan sustratos y producen el incremento de la población microbiana, produciendo humus o abono orgánico (Docampo, S.f).

Dos métodos de degradación de materia orgánica muy comunes son compostaje y vermicompostaje; la generación de abono a partir de estos, incluye el uso sustratos como estiércol, restos de material orgánico vegetal (MOV), paja, viruta, entre otros. En el caso del vermicompostaje se utiliza como agente biológico de estabilización la lombriz de tierra, de manera que acelere el proceso de degradación de los diferentes componentes (Román, Martínez, & Pantoja, 2013); el resultado de este proceso arroja un producto de alta calidad, sin sustancias contaminantes, el cual apunta a la reducción de los impactos ambientales asociados a la fertilización de suelo con químicos (FAO, S.f).

La implementación de estos métodos, contribuye a la reducción de problemas ambientales relacionados con la acumulación de RSO, ya que realizan una transformación de residuos a recursos, provocando un ahorro significativo en cuanto a la gestión y transporte diario de los mismos (de Santos & Urquiaga, 2013).

El efecto de aplicación de un abono orgánico en el suelo, contribuye al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de este, pues genera estabilidad estructural, favorece la penetración del agua, aumenta la capacidad de reserva de nutrientes para la germinación de

diferentes cultivos, favorece los procesos de mineralización y el desarrollo del forraje (Julca *et al.*, 2006).

De este modo (Ramírez, Gómez, & Flórez, 2011), afirman que la aplicación de este, tiene un efecto positivo respecto a la nutrición de las plantas; pues cuando se activa la materia orgánica del suelo y la agregada, se logra un beneficio en cuanto al crecimiento y formación de raíces secundarias y terciarias en plantas (Barrera, Combatt, & Ramírez, 2011).

Los procesos de abonado con productos orgánicos deben ser aplicados antes de la siembra para que los nutrientes contenidos en este, puedan incorporarse al suelo (INATEC, 2016).

2.2.2. Marco conceptual.

El aumento de los RSO generados por la prestación del servicio de cabalgata, y los impactos vinculados a este, ha creado la necesidad de implementar prácticas de separación y aprovechamiento para este tipo de residuos (Shere, 2012), buscando usos alternativos que beneficien el entorno utilizándolos en un proceso de transformación para la creación de una nueva materia prima (abono orgánico, biocombustible, acondicionador de suelo, entre otros), minimizando costos en cuanto transporte y disposición final (Jaramillo & Zapata, 2008).

Algunas de las técnicas de aprovechamiento se relacionan a continuación:

2.2.2.1 Compostaje.

El aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos a pequeña escala son una alternativa viable con facilidades operativas principalmente para las zonas rurales (Sepúlveda & Alvarado, 2013); es por esto que uno de los métodos más empleados a nivel nacional es el compostaje, que de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC-5167 (2011, citado en Hernández & Zabaleta, 2016, p.11), se define como “el proceso de oxidación aerobia de materiales orgánicos que conduce a una etapa de maduración mínima (estabilización), se convierten en un recurso orgánico estable y seguro para ser utilizado en la agricultura”.

En un proceso de compostaje actúan una serie de microorganismos, los cuales rompen las moléculas para transformarlas en compost. El estiércol, es uno de los sustratos principales en un compostaje tradicional, rico en nutrientes como nitrógeno (N), Potasio (K) y materia orgánica, cantidades que dependen de la edad, la alimentación y la clase de animales; la cantidad de K y P, presentes en el estiércol son asimilados eficazmente por las plantas (Sánchez A, 2008; Román, *et al.*, 2013).

2.2.2.2 Vermicompostaje.

Otra técnica muy utilizada es el vermicompostaje o lombricultivo, la cual Herrera (2009) define de la siguiente manera:

Proceso biológico de transformación de los residuos orgánicos a humus, a través de una descomposición realizada por lombrices. Para establecer la lombricompostera, los materiales orgánicos deben extenderse en capas delgadas y con un cierto orden para que las lombrices vayan moviéndose según sus necesidades de alimento (p. 49).

Mediante este proceso de estabilización, los minerales insolubles y otros compuestos presentes en el material orgánico son solubilizados por acción de la lombriz, la cual parcialmente los degrada a compuestos más simples asimilables por las plantas cuando el abono generado (vermicompost) es aplicado en el suelo (Román, *et al.*, 2013). Además, el autor resalta que la especie de lombriz más empleada para esta técnica biológica es *Eisenia foetida* conocida comúnmente como la lombriz roja californiana, debido a su rápida y fácil alimentación, teniendo en cuenta que cada 24 horas consume alimento correspondiente a su propio peso al día.

2.2.2.3 Usos del abono orgánico.

Una investigación (ETC-Andes & ILEIA, 2004) señala que procedimientos como la incorporación de este producto orgánico al suelo, produce un efecto directo en la estructura y cobertura del mismo, por lo que una aplicación de forma controlada es útil para su recuperación y la construcción

de un sistema dinámico; ETC-Andes *et al.*, afirma que “el uso de abonos verdes, reducen la erosión, fomentan la infiltración del agua y, a través del mejoramiento de la calidad del suelo, conducen a un incremento en la producción” (pp. 12-13).

La aplicación del abono orgánico en pastos, actúa como mejorador y recuperador de suelos debido a la acción microbiana, a su vez, modera los contaminantes que llegan al suelo, haciéndolos resistentes a invasiones de bacterias peligrosas para las plantas y aporta a la nutrición de las plantas activando su rendimiento (Bonifaz, 2011).

2.2.2.4 *Brachiaria humidicola*.

2.2.2.4.1 Descripción botánica y morfológica

De acuerdo con Pérez & Lascano (1992) y Olivera, Machado & del Pozo (2006, p.5) el pasto *Brachiaria humidicola* es una especie de pasto gramínea perenne, de crecimiento estolonífero vigoroso de cobertura densa en el suelo, difundido principalmente en los llanos orientales y países del trópico, dada su buena adaptación a suelos húmedos, zonas de alta precipitación, niveles de acidez, baja fertilidad natural (característica de esta región).



Figura 2. Pasto Brachiaria humidicola. Fuente, (INATEC, 2016).

Esta especie vegetal alcanza alturas de 38 a 60cm, cuenta con estolones fuertes logrando alcanzar hasta 1,2 m de longitud (Olivera *et al.*, 2006, p.3); las hojas de sus tallos miden de 10 a 30 cm de longitud y de 0,5 a 1,0 cm de ancho, presentando inflorescencia terminal, racimosa de 1 a 4 racimos de 3 a 5 cm de longitud, según Pérez, *et al.* (1992). Ver Figura 2.

2.2.2.4.2 Mejoramiento de pasturas

La calidad de *B. humidicola*, en cuanto al forraje del pasto, se reduce potencialmente con el transcurso del tiempo, debido a las deficiencias de nitrógeno que presenta, por ello requiere una aplicación de abonos con altos contenidos de nitrógeno o en su defecto fertilizantes nitrogenados; el mejoramiento de forrajes logra un alto nivel de producción de biomasa con óptimos contenidos de nutrientes, fácil adaptación y gran agresividad; no obstante, garantiza la erradicación de malezas gracias a su amplia cobertura, previene y controla la erosión (Arronis, S.f).

2.2.3. Marco legal

La normatividad legal vigente para el control, transporte, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final de los RSO en Colombia consta de Decretos, Leyes, Normas y Resoluciones, las cuales establecen procedimientos, pautas y reglas, en pro de una correcta práctica de gestión (ver Tabla 1).

Tabla 1.
Normatividad legal vigente.

Norma	Aplicación
Constitución Política de Colombia/1991	“En el Capítulo 3, para los Artículos 79 y 80, se consagran los derechos colectivos a gozar de un ambiente sano y el deber del estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, planificar el manejo de los recursos naturales renovables a fin de garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución y prevenir los factores del deterioro ambiental” (Constitución política de Colombia , 1991).

Tabla 1. (Continuación)

Norma	Aplicación
Ley 9/1979	Regula las normas sanitarias relacionadas con la salud pública, adoptando medidas de control para la descarga de residuos y materiales que puedan afectar el entorno, seguidamente con el fin de disminuir los impactos ambientales y el uso de materias primas por los procesos de disposición final reduciendo la cantidad de residuos a disponer (Ley 9/1979, 1979).
Ley 99/1993	A través de esta norma se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA- y se dictan otras disposiciones (Ley 99, 1993).
Decreto Ley 2811/ 1974	En su capítulo I título III de los residuos, basuras, desechos y desperdicios de la parte IV de las Normas de preservación ambiental relativas a elementos ajenos a los recursos naturales, reglamenta la implementación de los mejores métodos para aprovechamiento, tratamiento, recolección, procesamiento o disposición final de los residuos, basuras, desperdicios, de cualquier tipo (Decreto Ley 2811, 1974).
Decreto 1713/2002	Con el fin de disminuir los impactos ambientales y el uso de materias primas por los procesos de disposición final reduciendo la cantidad de residuos a disponer establece el Ministerio de Ambiente Vivienda y desarrollo territorial, en el Capítulo VII el sistema de aprovechamiento de los residuos sólidos, como su selección, diseño de infraestructura, requisitos previos de comercialización de productos obtenidos mediante la degradación de la materia orgánica, como el compost (Decreto 1713, 2002).
Decreto 2981/2013	Por el cual se reglamenta el servicio público de aseo, se establecen las características mínimas de los residuos sólidos para su aprovechamiento (Decreto 2981, 2013).
Resolución 00074/2002	Por la cual se establece el reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaclado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización de productos agropecuarios ecológicos. Planteando que los sistemas de producción ecológicos vegetal y animal tienen como objetivo garantizar la sostenibilidad y renovabilidad de la base natural, mejorar la calidad del ambiente mediante limitaciones en la utilización de tecnologías, fertilizantes o plaguicidas que puedan tener efectos nocivos para el medio ambiente y la salud humana (Resolución 00074, 2002).

Tabla 1. (Continuación)

Norma	Aplicación
Resolución 00150 ICA/2003	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia. Se establece un sistema de registro y control de fertilizantes y acondicionadores de suelos, adoptado con base en estándares internacionales, contribuye a mejorar las condiciones de su producción, comercialización, utilización y disposición final de desechos de los mismos en el país, elevando los niveles de calidad, de eficacia y de seguridad para la salud humana y el ambiente (Resolución 00150, 2003).
Resolución 6896/2016	Por la cual se establecen los requisitos para la expedición de la Guía Sanitaria de Movilización Interna (GSMI) de ganado bovino, porcino y equino, además de las Buenas Prácticas Equinas en las que se dispone el establecimiento de parámetros para el manejo técnico de la producción y mantenimiento de équidos, basados en requisitos sanitarios y de bienestar animal, en establecimientos dedicados a la tenencia de los mismos (Resolución 6896, 2016).
GTC 24/2009	Por la cual se establece la guía técnica que brinda las pautas para realizar la separación en la fuente de los materiales que constituyen los residuos no peligrosos en las diferentes fuentes de generación: doméstica, industrial, comercial, institucional y de servicios. Igualmente da orientaciones para facilitar la recolección selectiva en la fuente (GTC-24, 2009).
NTC 5167/2011	Por la cual se establecen los parámetros físico-químicos y microbiológicos, y los valores necesarios para calificarlos según el origen y materiales utilizados para la preparación del mismo, ya sea líquido o sólido, utilizado como abono orgánico en el desarrollo de las prácticas agrícolas (NTC 5167, 2011).
NTS-TS 003	Agencias de viajes. Requisitos de sostenibilidad: Establece los requisitos de sostenibilidad en los aspectos ambientales, socio-culturales y económicos aplicables a las agencias de viajes y turismo, mayoristas y operadoras (NTS-TS 003, 2016).
NTS-AV 0014	Requisitos para la operación de actividades de cabalgata en turismo de aventura: Establece los requisitos que deben cumplir las agencias de viajes para la operación de actividades de cabalgata, en turismo de aventura (NTS-AV 014, 2015).

Fuente Machuca & Muñoz, 2018, con base en información plasmada por la normatividad presentada. Organización jerárquica según la pirámide de Kelsen.

3. Procesamiento metodológico

El presente estudio fue desarrollado en la empresa eco-turística Campo Ecológico Gramalote (CEG) en el municipio de Restrepo, Meta; allí se llevó a cabo la evaluación de dos métodos de compostaje piloto para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos (RSO) generados por el ganado equino.

En esta investigación se realizaron dos análisis estadísticos, mediante el uso del software *IBM SPSS Statistics*; en el primero se calculó una prueba de medias *T-student*, efectuando una comparación entre tratamientos respecto a los datos obtenidos en la toma de los parámetros físico-químicos (pH, temperatura, nitrógeno, potasio, humedad), con el fin de identificar si existe diferencia en cuanto a índices de calidad del abono para cada uno de los tratamientos implementados y así mismo responder a las hipótesis:

H₀: El nivel de significancia bilateral aplicado, indica si la calidad del abono es igual entre tratamientos según sus parámetros físico-químicos, a pesar de haber utilizado sustratos diferentes. Vs. ***H₁***: El nivel de significancia bilateral aplicado, indica que la calidad del abono difiere en al menos dos tratamientos según sus parámetros físico-químicos, luego de haber utilizado sustratos diferentes.

Posteriormente, se realizó un análisis comparativo entre los datos registrados en la prueba anterior con la aplicación del abono generado por cada uno de los tratamientos sobre el pasto; donde se evaluó el uso del abono mediante la producción, determinada por la altura y el peso de este. El análisis se realizó a una vía de clasificación de efectos fijos (ANOVA y estadístico de Tukey), pretendiendo juzgar la siguiente hipótesis:

H₀: La media poblacional para la altura de los pastos es igual a pesar de haber aplicado diferentes tratamientos en la fertilización. Vs. ***H₁***: La media poblacional para la altura de los pastos presenta diferencias por lo menos en dos tratamientos aplicados en la fertilización.

Finalmente, se propusieron recomendaciones de manejo del residuo, que permitiera una práctica de gestión adecuada para la equinaza y demás RSO identificados.

3.1. Recolección de información primaria

Se realizaron visitas de observación para la recolección de información primaria necesaria, la cual permitió establecer el ciclo productivo de la empresa en torno al cliente respecto a los tipos de RSO generados y su gestión; de este modo fue posible identificar las fuentes de generación y los puntos críticos por acumulación de estos.

La cuantificación de los RSO encontrados, se llevó a cabo durante el mes de junio, teniendo en cuenta que es una época del año de alta afluencia de visitantes, para lo cual se establecieron registros de las cantidades generadas en Kg/semana.

3.2. Fase I: Implementación de los métodos de compostaje

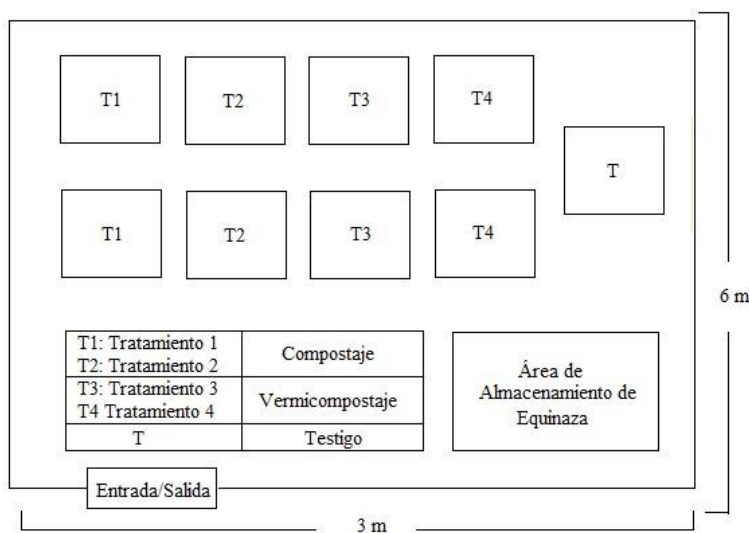
La implementación de los métodos piloto de compostaje (compostaje tradicional y vermicompostaje), se llevó a cabo en una de las pesebreras cubiertas de la empresa, correspondiente a un área de 6 m x 3 m. Se simuló un escenario de invernadero, con malla de poli-sombra en las estructuras laterales para evitar la presencia de luz, controlando la temperatura ambiente del lugar, a lo largo del estudio.

La investigación constó de 2 tratamientos por cada método de compostaje, para un total de 4 tratamientos con 2 repeticiones más el testigo, los cuales fueron evaluados posteriormente durante el estudio (ver Tabla 2 y Figura 3).

Tabla 2 .*Composición de los tratamientos implementados.*

Método	Tratamiento	Equinaza (Kg)	MOV (Kg)	Lombriz (Kg)
Compostaje	T1	4	1,0	-
	T2	4	2,5	-
Vermicompostaje	T3	4	-	1,0
	T4	4	-	2,0
Testigo		4	-	-

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

*Figura 3. Ubicación y estructura física del área experimental de los modelos piloto. Fuente Machuca & Muñoz, 2018.*

La estructura de los modelos piloto se llevó a cabo en bateas de 55 galones cortadas a la mitad con un radio de 0.25 m x 1 m de largo y 0.50 m de ancho (ver Figura 4).



Figura 4. Dimensiones de las estructuras de los modelos piloto. Fuente Machuca & Muñoz 2017.

3.3. Fase II. Identificación de los parámetros físico-químicos del abono

3.3.1. Toma de muestras.

Respecto a los parámetros físico-químicos de cada método, se realizaron 8 muestreos a lo largo de 140 días (4 meses); donde se tomaron 500 g de muestra por tratamiento en bolsas ziploc; contando 15 días a partir de la fecha inicial, para un total de 16 muestras por tratamiento, exceptuando el testigo, del cual solo se obtuvieron 8 muestras.

Las muestras pertenecientes a un mismo tratamiento y fecha, fueron mezcladas para obtener muestras compuestas.

3.3.2. Determinación de parámetros físico-químicos en laboratorio.

Se midieron los niveles de potencial de hidrogeno (pH), temperatura, potasio (K), nitrógeno (N), contenido de humedad (%H), densidad aparente (Da) y densidad real (Dr), y porosidad (%P). La Tabla 3 explica el procedimiento realizado por cada parámetro.

Tabla 3.*Metodología para la toma de parámetros físico-químicos.*

Parámetro	Descripción del procedimiento
pH y Temperatura	Fueron pesados 10 g de muestra de abono, depositados en un vaso precipitado de 250 ml, posterior a ello fue diluida la muestra en 50 ml de agua destilada y se agitó hasta homogenizar. Finalmente se introdujo el pHmetro en el vaso precipitado sin tocar las paredes o el fondo del mismo (Gómez, 2013).
K y N	K: Con una pipeta de transferencia se llenó un tubo de potash "A"(0245) hasta la marca inferior con el extracto general del suelo, se añadió un comprimido Potassium Reagent B Tablet (5161), se tapó y agito hasta disolverse. Al adicionarse gotas de Potassium Reagent C (5162) en el tubo de potash "A" se dejó llenar hasta la marca superior del tubo y se procedió a mezclar hasta obtener un precipitado. Al colocarse sobre la placa de lectura del potasio (1107), se llenó el tubo de potash "B" con la muestra del tubo de potash"A" esperando que la línea negra de la placa desapareciera (Gómez, 2013). N: En una pipeta de 1 ml fue transferido 1 ml de extracto general del suelo a una placa de mancha (0159). Se añadieron 0,5 g de Nitrate Reagent 2 Powder (5147), se revolvió y dejó en reposo 5 minutos. Al final fue comparado con la Tabla de Nitratos de Nitrógeno (1315) (Gómez, 2013).
%H	Para poder estimar la cantidad de agua presente en cada tratamiento, se procedió a evaporarla mientras se cuantificaba la pérdida de peso durante el proceso, para ello se pesaron 10g de cada muestra, se colocaron sobre papel filtro y se llevó al horno durante 24 horas a 105°C (Ver Ecuación 1). $Agua (\%) = \frac{P \text{ húmedo} - P \text{ seco}}{P \text{ seco} - T} \times 100$ Ecuación 1. Cálculo del contenido de humedad del suelo. Fuente, (Badía, Ortíz, & Martí, 2016)
%P	La porosidad de cada tratamiento se determinó a partir de la densidad aparente obtenida previamente (Ver Ecuación 2). $P = \left\{ 1 - \frac{D_a}{D_r} \right\} \times 100$ Ecuación 2. Cálculo de la porosidad en el suelo. Fuente, (Flores & Alcalá, 2010)

Tabla 3. (Continuación).

Parámetro	Descripción del procedimiento
Da	Con el fin de establecer la función de cada tratamiento como hábitat (facilidad para la penetración de las raíces), se realizó el cálculo de la densidad real. Se tomaron 10 g de cada muestra en un vaso precipitado de 25 ml y se llevó la muestra al horno durante 24 horas a 105 °C (Ver Ecuación 3) $Da = \frac{Masa\ suelo\ seco\ (g)}{Vcilindro}$ Ecuación 3 Cálculo de la densidad aparente. Fuente, (Gómez, 2013).
Dr	La densidad real fue determinada con el método del picnómetro, utilizando 10 g de suelo en un picnómetro de 50 ml limpio y seco. Se le adicionaron 25 ml de agua destilada previamente hervida hasta llenarlo. Se vació, se llenó completamente de agua hervida y reposada, se tomó el dato de la temperatura. Se registró el peso del picnómetro solo, con agua, con la muestra + agua, con agua hervida reposada. (Ver Ecuación 4) $Dr = \frac{dw(Ws - Wa)}{(Ws - Wa) - (Wsw - Ww)}$ Ecuación 4 Cálculo de densidad Real mediante el método del picnómetro. Fuente (Heredia, S.f).

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

Se llevó a cabo un análisis de igualdad de medias con la prueba *T-student* para muestras independientes de 95% de confianza, con el fin de identificar diferencias significativas entre tratamientos en contraste con el testigo; para ello se establecieron como variables regresoras el pH, temperatura, humedad, nitrógeno, potasio.

Se asumieron varianzas iguales si el estadístico Levene >0,05; se asumieron varianzas distintas si es <0,05; para la prueba de medias *T-student*: Se asumen tratamientos iguales si los niveles de significancia bilateral >0,05, se asumen tratamientos diferentes si <0,05. Se asumen diferencias entre tratamientos si el “0” no está incluido entre los límites de intervalo de confianza; se asume

igualdad entre tratamientos si el “0” está incluido entre los límites de intervalo de confianza (García, González, & Jornet, 2010).

3.4. Fase III. Efecto de la aplicación del abono sobre la producción del pasto.

La evaluación de la calidad del abono se determinó a partir de la aplicación en el pasto *Brachiaria humidicola*, principal fuente de alimentación de las especies de animales de CEG.

La presencia de esta especie vegetal, se debe a su buena adaptación frente a las condiciones climáticas de la región, a pesar de la baja fertilidad de los suelos de la misma; a su vez, se resalta como óptima para el soporte de áreas de altas cargas de animales de pastoreo (Pérez & Lascano, 1992), como son el desarrollo de cabalgatas y actividades ecuestres en la entidad.



Figura 5. Diseño experimental para la aplicación del abono sobre el pasto. Fuente Machuca & Muñoz 2017.

La aplicación del abono (por tratamiento) se realizó mediante la técnica de voleo sobre la cobertura del pasto con una dosis de 300 g.m^{-2} , cada 15 días durante 62 días, metodología sugerida por Campos, (2010, citando a Loaiza, 2008).

El abono obtenido de los 4 tratamientos, fue aplicado en 2 unidades experimentales (repeticiones) 4 x 2, más el testigo (sin aplicación de abono) para un total de 9 unidades experimentales (parcelas). Ver Figura 6.

Las unidades experimentales se construyeron sobre la especie de pasto establecida, homogenizada previamente a 10 cm de altura; cada parcela tenía un área de 0,5 m² (ver Figura 5).

3.4.1. Rendimiento del pasto (altura y peso).

El efecto del rendimiento fue determinado a partir de la altura y peso de la especie vegetal, en cada unidad experimental.

Con el fin de obtener valores representativos por parcela, se dividió en 4 zonas cada unidad, dejando un efecto de borde de 10 cm. Se registraron datos de altura (cm) y peso (g) de 3 individuos de pasto en puntos seleccionados al azar de cada una de las zonas (ver Figura 6), con un total de 12 datos por unidad experimental, para las variables altura y peso, respectivamente.

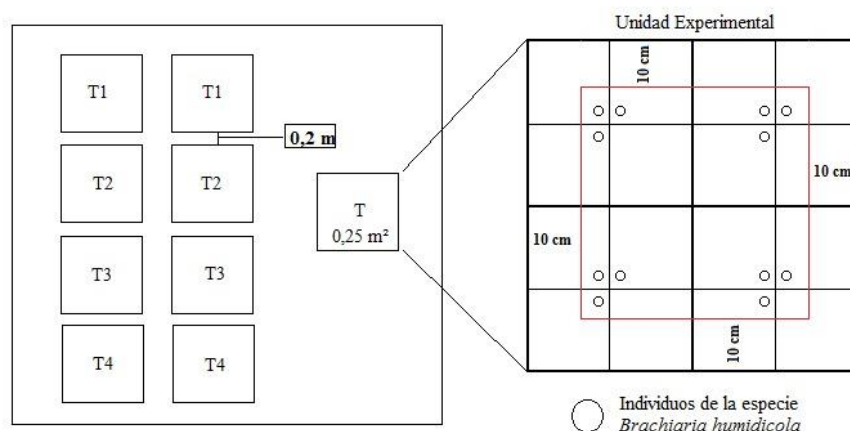


Figura 6. Distribución de las unidades experimentales y procedimiento para la toma de muestra de los individuos *B. humidicola*. Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

3.5. Fase IV. Recomendaciones de manejo

Con el fin de proponer recomendaciones de manejo para la equinaza, se construyó una guía de manejo plasmando pautas, lineamientos, procedimientos y actividades a seguir para reducir los impactos ambientales y económicos asociados a la presencia de los RSO en CEG.

A partir de la culminación de las fases anteriores, fue posible establecer el método y tratamiento óptimo para su posterior implementación en la entidad; proponiendo un diseño estructural a gran escala.

4. Resultados y análisis.

4.1. Diagnóstico de la situación actual.

La elaboración del ciclo productivo en Campo Ecológico Gramalote (CEG) en torno a las actividades del cliente, reflejó el estado actual de los residuos sólidos orgánicos (RSO), una vez realizadas las visitas de observación en campo. Este mecanismo de recolección de información primaria, permitió conocer los puntos de generación de material orgánico (ver Figura 7).

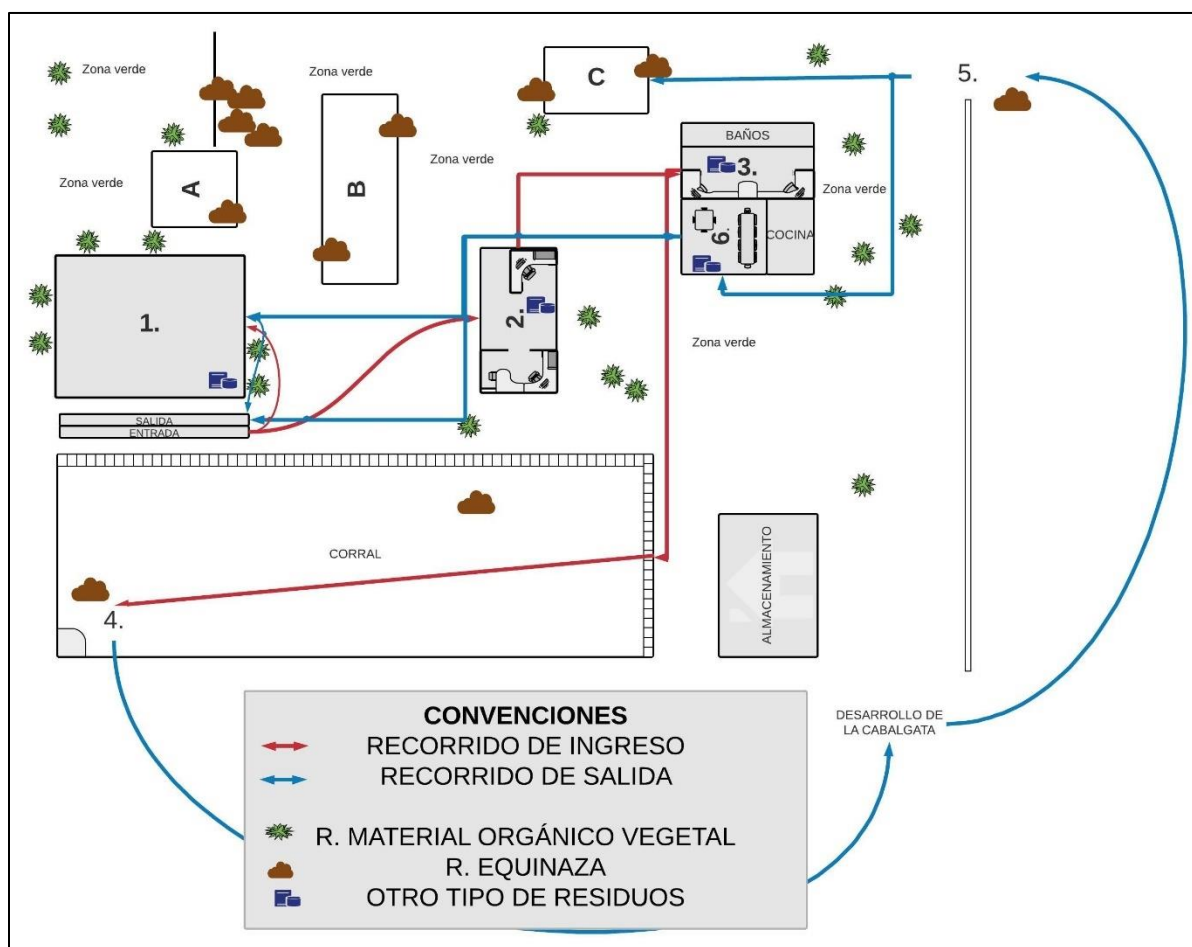


Figura 7. Ciclo productivo de CEG- Gestión de los RSO. **Nota:** Las etapas del ciclo productivo se enumeraron de la siguiente forma: 1. Parqueadero, 2. Agencia de Viajes, 3. Recepción, 4. Punto de Partida, 5. Punto de Llegada. Para el caso de los establos se delegaron las siguientes convenciones A, B y C. Fuente Machuca & Muñoz 2018.

En la Figura 7 se identificaron afectaciones en los establos A, B, C, el punto de partida y el punto de llegada debido a la presencia de equinaza (dyecciones de ganado equino, restos de orina, cascarilla y paja de pesebreras), estableciendo un punto crítico por acumulación en el establo A (ver Figura 8), teniendo en cuenta que es la zona que presenta mayor concentración de equinaza; a su vez, evidencia un impacto paisajístico, modificación en la estructura del suelo, propagación de poblaciones microbianas en un área verde cercana, ya que es allí donde se dispone del residuo.



Figura 8. Punto crítico acumulación equinaza. Fuente Autores, 2017.

Por otro lado, se identificaron restos de material orgánico vegetal (MOV) los cuales se vincularon a actividades de poda, hojarasca, ramas, desbroce de especies arbustivas, arbóreas y restos de frutas, generando puntos críticos en las zonas verdes y el parqueadero.

Es de resaltar que los recorridos de ingreso y salida no identificaron afectaciones por RSO, porque la empresa no comercializa productos orgánicos; sin embargo, adicional al propósito de la investigación, mediante el ciclo productivo, se logró establecer la generación de otros tipos de residuos sólidos inorgánicos como papel, cartón, PET, latas y envolturas, en el parqueadero, agencia de viajes, recepción y cafetería; asociados con la venta de productos para consumo que realiza CEG; motivo por el que se propuso un mecanismo de acción denominado “puntos

ecológicos” en sitios estratégicos, además de capacitaciones sobre la correcta gestión de los residuos dirigida al personal de la entidad (ver Anexo 1 y 2).

4.1.1. Cuantificación

La Tabla 4, resume los resultados obtenidos respecto a la cuantificación de la equinaza y el MOV, durante el mes de junio (30 días); para el primer residuo el procedimiento se llevó a cabo pesando todas las cantidades generadas en el establo B, para un total de 386,40 Kg/mes; el MOV pesado, procedía del parqueadero y la zona verde ubicada al respaldo del establo A, para un total de 65,54 Kg/mes. De este modo, se logró concluir que los RSO de mayor generación en CEG corresponden a la equinaza con el 85,81% en su producción y del 14,19% para el MOV (ver Figura 9); motivo por el cual se utilizaron como sustratos para el desarrollo de los métodos de compostaje.

Tabla 4.

Cantidad de residuos sólidos orgánicos generados semanalmente en CEG.

Semana	Equinaza		Material Orgánico Vegetal	
	(Kg)	(%)	(Kg)	(%)
Semana 1	105,20	86,02	17,10	13,98
Semana 2	87,30	82,70	18,26	17,30
Semana 3	93,10	86,73	14,24	13,27
Semana 4	110,80	87,42	15,94	12,58
Total	396,40	85,81	65,54	14,19

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

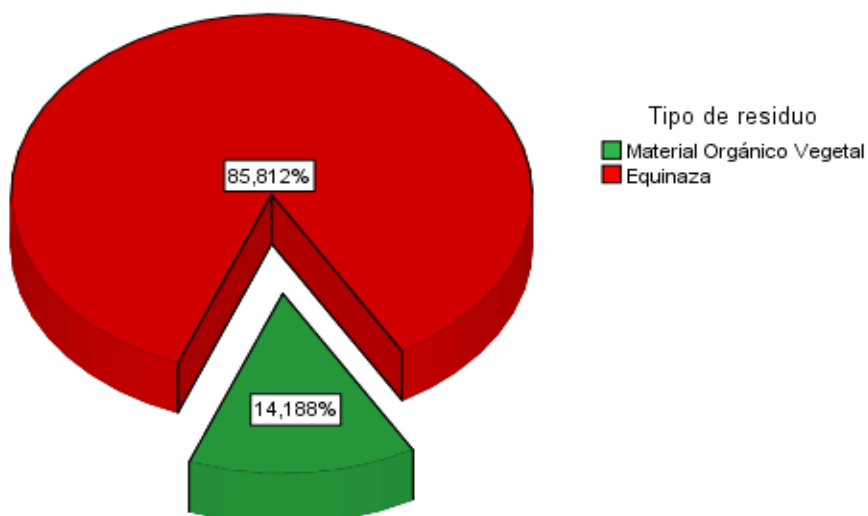
Porcentaje de RSO en Campo Ecológico Gramalote

Figura 9. Producción mensual de RSO en campo Ecológico Gramalote. Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

4.2. Implementación de los métodos de compostaje.

El aprovechamiento y reincorporación de los RSO generados de las actividades económicas en CEG, se llevó a cabo mediante la implementación de los métodos de compostaje y vermicompostaje, con un tiempo de degradación del material orgánico de 140 días, para la obtención de abono orgánico. Teniendo en cuenta que la equinaza fue el RSO de mayor producción, se utilizó como sustrato en todos los tratamientos descritos en la Tabla 2.

Además de los métodos propuestos, se utilizaron 4 Kg de equinaza para el testigo (1), definido como “muestra inalterada la cual no recibe tratamiento especial con el fin de comparar los resultados obtenidos de los otros tratamientos” (Mellado, S.f), sometido a las mismas condiciones ambientales que los demás.

4.2.1. Compostaje

Se desarrollaron dos (2) tratamientos T1 y T2 para el método de compostaje; utilizando como sustrato inicial 4 Kg de equinaza en ambos, así mismo se alternaron las cantidades de MOV; 1.0 Kg (T1) y 2.5 Kg (T2). La equinaza fue triturada previamente y se distribuyó intercalando cada sustrato en capas marrones (equinaza, corteza, palos, ramas, hojas secas) y verdes (resto de podas, desbroce de árboles, arbustos) (ver Figura 10).



Figura 10. Montaje tratamientos método de compostaje. Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

Para este método fue necesario realizar orificios en la base de las estructuras (ver Figura 11), facilitando la aireación de los microorganismos aerobios, teniendo en cuenta que la obstrucción de oxígeno daría paso a microorganismos anaerobios que hubiesen podido retardar el proceso de descomposición del material orgánico y generar malos olores (Zhu, 2005). Los T1 y T2 fueron volteados y aireados cada 15 días.



Figura 11. Adecuación de estructuras de los tratamientos de compostaje. Fuente Machuca & Muñoz

Transcurridos los 140 días de descomposición de la materia orgánica, la Figura 12 evidencia el abono generado perteneciente a los tratamientos propuestos para el método de compostaje, en contraste con el testigo; presentaron restos de MOV los T1 y T2, lo que indicó que para estos tratamientos el material orgánico introducido no fue descompuesto en su totalidad. En cuanto al testigo, presentó una coloración amarillenta y descomposición seca, aún con presencia de equinaza y MOV prácticamente entera.



Figura 12. Muestras finales de los tratamientos de compostaje. **Nota:** De izquierda a derecha T1, T2 y testigo. Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

4.2.2. Vermicompostaje

En el caso del vermicompostaje, también se desarrollaron 2 tratamientos T3 y T4, utilizando como sustrato único equinaza, sin embargo, se introdujo una especie de lombriz domesticada (lombriz roja californiana “*Eisenia foetida*”) para el proceso de oxidación biológica (ver Figura 13). Teniendo en cuenta que las lombrices aceleran el proceso de descomposición del material orgánico mediante su ingesta (Román, Martínez, & Pantoja, 2013), para validar dicha afirmación, se quiso variar la cantidad de las mismas en cada tratamiento para la obtención del abono (ver Tabla 2).

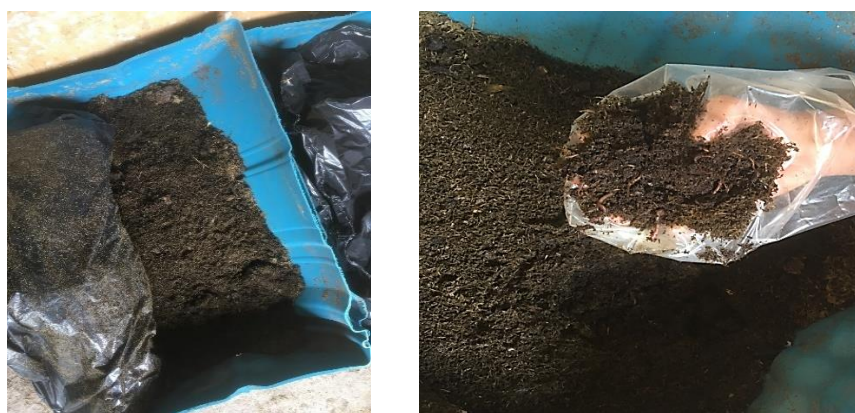


Figura 13. Montaje tratamientos de vermicompostaje **Nota:** De izquierda a derecha camas vermicompostaje; inserción de lombrices. Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

Previamente, se realizó un pre-composteo de equinaza triturada durante 2 semanas (previas a la fecha de inicio del proceso de implementación), el cual permitió el desarrollo de microorganismos y dio fin a la etapa termófila del material orgánico con el fin de evitar la mortalidad de las especies, teniendo en cuenta los altos índices de amonio y sales presentes en el estiércol (Acosta *et al.*, 2013).

Con lo anterior, se tuvo en cuenta una cama base de tierra negra para introducir las lombrices en las bateas luego de las 2 semanas. La introducción de la lombriz se realizó en su fase de clíelo desarrollado, es decir con una edad de 30-40 días, una vez esta estuviese madura sexualmente, para

poder reproducirse (Aburto, 2008); se suministraron 700 ml de agua cada 8 días para controlar los niveles de humedad en cada tratamiento.

La alimentación de las lombrices se realizó cada 10 días, suministrando 5 cm de alimento; los lixiviados generados no fueron retirados, con el fin de que se mantuviesen como componentes activos, siendo un aparte fundamental a la calidad del abono orgánico (Aya, 2015).

La Figura 14, plasma el resultado de 140 días de estabilización del RSO en T3, T4 y testigo. En comparación con los T1 y T2, las muestras obtenidas presentan una coloración marrón mucho más intensa y una textura más fina.



Figura 14. Muestras finales métodos de vermicompostaje. **Nota:** De izquierda a derecha T3, T4 y testigo. Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

4.3. Identificación de parámetros físico-químicos

La toma de los parámetros físico-químicos en laboratorio, evidenció el proceso de estabilización temporal del material orgánico en cada uno de los tratamientos propuestos para la producción de abono orgánico.

4.3.1. Parámetros compostaje.

4.3.1.1 Temperatura y pH.

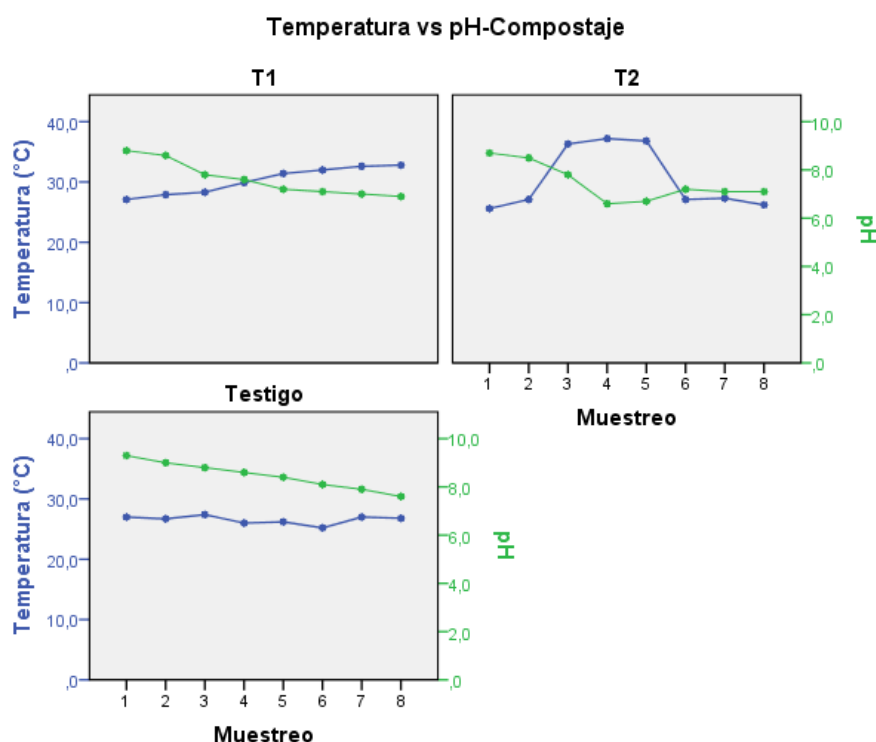


Figura 15. Relación temperatura y pH en tratamientos de compostaje Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

El T1 muestra un incremento constante en la temperatura de 27,1 a 32,8 °C, siendo totalmente inverso sus niveles de pH entre 8,8 y 6,9; el T2, presentó un comportamiento en campana para la temperatura, teniendo inicios con valores de 25,6 °C logro alcanzar picos de 37,2 °C y luego descender a 26,2 °C (ver Tabla 5 y Figura 15).

La temperatura es una variable de vital importancia en un proceso de compostaje, teniendo en cuenta que a partir de ella se logran establecer las fases de este y a su vez establecer si se está llevando un proceso correcto en su ejecución (Earth Green SAC, 2017).

La disminución del pH en los T1 y T2 se vio influenciada por la producción de ácidos orgánicos, resultado de los procesos biológicos que desarrolló la población microbiana presente, durante el proceso de descomposición, bajo condiciones anaerobias (ICA, 2015)

Tabla 5.

Parámetros físico-químicos de los tratamientos del método de compostaje.

	Variable	Muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T1	pH	8,8	8,6	7,8	7,6	7,2	7,1	7,0	6,9
	T°C	27,1	27,9	28,3	29,9	31,4	32,0	32,6	32,8
T2	pH	8,7	8,5	7,8	6,6	6,7	7,2	7,1	7,1
	T°C	25,6	27,1	36,3	37,2	36,8	27,1	27,3	26,2
Testigo	pH	9,3	9,0	8,8	8,6	8,4	8,1	7,9	7,6
	T°C	27,0	26,7	27,4	26,0	26,2	25,2	27,0	26,8

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

El comportamiento de las variables representado en la Tabla 5 y Figura 15, muestra que el testigo tuvo una media de 26,53 °C y un pH de 8,46; estableciendo que, durante los 140 días de seguimiento, el proceso natural de descomposición de equinaza fue lento a comparación de los T1,T2, debido a que la temperatura se mantuvo prácticamente constante (temperatura ambiente) disminuyendo la actividad microbiana, por lo cual no hubo presencia de calor y a su vez tampoco descomposición de compuestos que generaran ácidos orgánicos y disminuyeran los niveles de pH significativamente (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

Se logró establecer que los niveles de pH entre el T1, T2, vs el testigo, asumieron varianzas iguales con un nivel de significancia bilateral de 0,023 y 0,012, lo que indica discrepancias entre tratamientos. La prueba de *T-student* estableció los límites de confianza entre -1,5427 y -0,1323 para T1 y -1,7417 y -0,2583 para T2, lo anterior logrando afirmar que los niveles totales de este parámetro difieren notoriamente frente al testigo, dado el hecho de que no cruzan el 0; de modo similar, la temperatura no registró varianzas semejantes entre tratamientos, y arrojó niveles de significancia en la prueba *T-student* entre 0,02 (T1) y 0,01 (T2), determinando así diferencias entre los dos tratamientos y el testigo, respecto a la temperatura (ver Tabla 6).

Tabla 6.

Prueba de medias en niveles de pH y temperatura en el método de compostaje.

Tratamiento	Variable	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba de T-student para igualdad de medias		
		(Sig)	Sig (bilateral)	95% intervalo de confianza para la diferencia	
				Inferior	Superior
T1	pH	0,499	0,023	-1,5427	-0,1323
	Temperatura °C	0,001	0,002	1,7958	5,6292
T2	pH	0,275	0,012	-1,7417	-0,2583
	Temperatura °C	0,000	0,074	-0,4976	8,3226

Fuente Machuca & Muñoz, 2018; a partir de información obtenida de IBM-SPSS Statistics.

4.3.1.2 Contenido de humedad.

Tabla 7.

Contenidos de humedad para tratamientos del método de compostaje.

Variable		Muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T1	Humedad (%)	60,9	27,6	12,1	37,0	34,6	30,9	30,9	38,2
T2		75,6	61,5	68,2	39,8	46,5	93,5	45,6	40,9
Testigo		12,1	11,9	9,1	10,8	8,0	11,7	9,6	10,3

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

Según los resultados plasmados en la Tabla 7, el comportamiento de la humedad en los métodos de compostaje evidenció un descenso en T1, T2 y testigo; los T1 y T2 registraron valores iniciales de 60,9 y 75,6% hasta alcanzar contenidos de humedad de 38,2 y 40,9%; por otro lado, el testigo presentó contenidos prácticamente constantes de humedad con un rango entre 12,1 y 10,3%. Del muestreo 1 a 2 para el T1 se observa una disminución súbita del contenido de humedad de 60,9 a 27,6% asociado al proceso de aireación realizado en la compostera (volteo); del mismo modo para

el T2 del muestreo 5 al 6, los contenidos de humedad aumentan significativamente de 46,5 a 93,5% por humectación.

La prueba de Levene registró varianzas semejantes para T1 con un nivel de significancia bilateral de 0,000 y un intervalo de confianza entre 13,21270 y 33,90362 estableciendo diferencias significativas entre T1 y el testigo. Por otro lado, en el T2 no se asumieron varianzas iguales, pero registró diferencias significativas respecto al testigo con un nivel de significancia bilateral de 0,000 (ver Tabla 8).

Tabla 8.

Prueba de medias para contenidos de humedad en el método de compostaje.

Tratamientos	Variable	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba de T-student para igualdad de medias		
		(Sig)	Sig (bilateral)	95% intervalo de confianza para la diferencia	
				Inferior	Superior
T1	Humedad (%)	0,053	0,000	13,21270	33,90362
T2	Humedad (%)	0,001	0,000	32,42029	64,57619

Fuente Machuca & Muñoz, 2018; a partir de información obtenida de IBM-SPSS Statistics.

4.3.1.3 Contenido de macronutrientes.

El contenido de macronutrientes presentes en los tratamientos del método de compostaje, fueron analizados a partir de la presencia de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en esta investigación; la Figura 16, muestra el comportamiento de estos nutrientes durante los 8 muestreos realizados en los 140 días del proceso de estabilización del material orgánico.

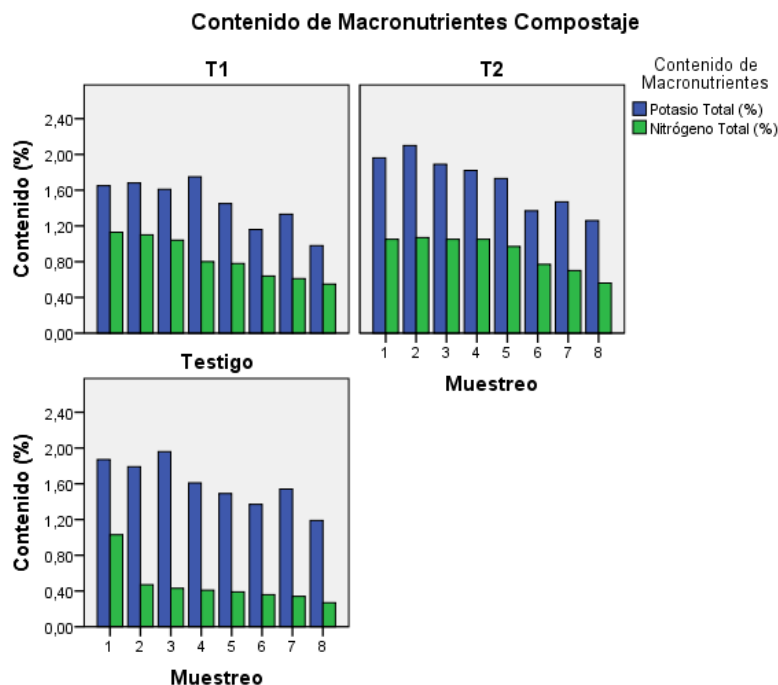


Figura 16. Contenido de macronutrientes N, K, tratamientos de compostaje. Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

4.3.1.3.1 Nitrógeno(N).

Los niveles de N en los T1, T2 y testigo fueron similares, teniendo un constante descenso a medida que se tomaron los muestreos, sin embargo, en términos de cantidad el testigo registró niveles muy bajos de N, para contenidos entre 1,03 y 0,27%, además de una pérdida considerable desde el muestreo 1 al 2, a comparación de los demás tratamientos (ver Tabla 9 y Figura 16).

Si bien, el comportamiento de N para T1 y T2 fue similar, las cantidades no; el primero con medias de 0,83 % y el segundo con 1,08%. El T2 a lo largo de los primeros 5 muestreos logró mantener niveles de N entre 1,05%, a diferencia de T1 que tuvo un descenso más rápido (ver Tabla 9). Para el caso del testigo, fue posible evidenciar la eliminación del nitrógeno existente en el material orgánico mucho más rápido debido al proceso de desnitrificación por parte de las bacterias nitrificantes; no obstante, las variables pH, temperatura y humedad también intervienen en este proceso, reduciendo así los niveles de N para este tratamiento.

Tabla 9.

Contenido de nitrógeno en los tratamientos del método de compostaje.

Variable		Muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T1	N (%)	1,13	1,10	1,04	0,80	0,78	0,64	0,61	0,55
T2		1,05	1,07	1,05	1,05	0,97	0,77	0,70	0,56
Testigo		1,03	0,47	0,43	0,41	0,39	0,36	0,34	0,27

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

La varianza entre tratamientos fue igual y se asumieron diferencias entre tratamientos con un nivel de significancia bilateral de 0,007 T1 y 0,001 T2, respecto al testigo, lo cual establece que existe diferencia entre tratamientos en cuanto al contenido de N se refiere (ver Tabla 11).

4.3.1.3.2 Potasio(K)

Al igual que en los contenidos de N, el K presentó comportamientos similares entre tratamientos. El T1 registro niveles iniciales de 1,65 y descendió en el último muestreo a 0,98%; en el T2 ocurrió lo mismo con datos entre 1,96 y 1,26%. A pesar de que el testigo presentó un comportamiento parecido a los T1 y T2, el contenido de K oscilo entre 1,87 y 1,19, resaltando que el T1 obtuvo los resultados más bajos para este nutriente (ver Figura 16 y Tabla 10).

Tabla 10.

Contenido de potasio en los tratamientos del método de compostaje.

Variable		Muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T1	K (%)	1,65	1,68	1,61	1,75	1,45	1,16	1,33	0,98
T2		1,96	2,10	1,89	1,82	1,73	1,37	1,47	1,26
Testigo		1,87	1,79	1,96	1,61	1,49	1,37	1,54	1,19

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

Asumiendo varianzas iguales entre tratamientos se logró establecer valores de significancia bilateral entre 0,277 y 0.500, para T1, T2; estableciendo que no existen diferencias significativas entre ellos, de acuerdo a los niveles de K (ver Tabla 11).

Tabla 11.

Prueba de medias para contenidos de macronutrientes en el método de compostaje.

Tratamiento	Variable	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba de T-student para igualdad de medias		
		(Sig)	Sig (bilateral)	95% intervalo de confianza para la diferencia	
				Inferior	Superior
T1	Nitrógeno (%)	0,503	0,007	0,11774	0,61976
	Potasio (%)	0,820	0,275	-0,43832	0,13582
T2	Nitrógeno (%)	0,719	0,001	0,20184	0,67416
	Potasio (%)	0,530	0,500	0,020443	0,39943

Fuente Machuca & Muñoz, 2018; a partir de información obtenida de IBM-SPSS Statistics.

4.3.1.4 Densidad real, aparente y porosidad tratamientos del método de compostaje.

La Tabla 12 muestra los datos registrados para la Dr, Da y porosidad a lo largo de los 8 muestreos realizados en el estudio.

Tabla 12.

Densidad real, aparente y porosidad tratamientos del método de compostaje.

	Variable	Muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T1	Dr (g/cm ³)	0,87	0,73	1,05	0,54	0,52	0,57	0,51	0,86
	Da (g/cm ³)	0,404	0,408	0,472	0,176	0,324	0,288	0,252	0,280
	Porosidad (%)	53,52	43,77	55,21	67,43	38,04	49,24	50,70	67,45

Tabla 12. (Continuación)

Variable		Muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
	Dr (g/cm ³)	0,49	0,50	0,46	0,55	0,57	0,65	0,61	0,91
T2	Da (g/cm ³)	0,360	0,27 7	0,280	0,332	0,306	0,257	0,208	0,288
	Porosidad (%)	27,03	45,1 4	39,45	39,09	46,61	60,18	65,75	68,46

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

4.3.1.4.1 Densidad Real (Dr)

El cálculo de densidad real para T1 registró un rango de 0,51 y 1,05 g/cm³, datos inferiores a 2,5 g/cm³ medida que corresponde a las características de un humus y que, subraya Salamanca & Sadeghian, (2005) posee un elevado contenido de materia orgánica. Para el T2 los valores de densidad real oscilan entre 0,46 y 0,91 g/cm³, poseen el mismo comportamiento que T1 (ver Tabla 12).

4.3.1.4.2 Densidad Aparente (Da)

Frente a los valores de densidad aparente registrados se indica que las medias alcanzadas oscilan entre 0,30 y 0,36 g/cm³, para los tratamientos T1 y T2; esto indica que ambos tratamientos cumplieron con lo establecido en la NTC 5167 (<0,6 g/cm³). Es importante resaltar que el registro de valores bajos de densidad aparente, indica que posee una estructura física con existencia de espacios libres para la circulación del agua y el aire, necesarios para satisfacer las necesidades fisiológicas de los microorganismos (Salamanca & Sadeghian, 2005).

4.3.1.4.3 Porosidad

Para la variable porosidad, se evidencio que los datos obtenidos para T1 con un rango de 38,04 y 67,45% muestran que el abono orgánico con el pasar de los días incrementó la porosidad reflejando

la capacidad de compactación y facilidad de circulación de agua y aire (UniOvi, S.f), el T2 el rango obtenido fue de 27,03 y 68,46% valores similares a los presentados en T1 (ver Tabla 12).

4.3.2. Parámetros vermicompostaje.

4.3.2.1 Temperatura y pH.

La Tabla 13 y Figura 17, representan las fluctuaciones de temperatura en los T3 y T4, asociadas a la intensa actividad de los microorganismos y lombrices, manteniendo un rango entre 25-28 °C, para ambos tratamientos; temperaturas tolerables para estos últimos.

Tabla 13.

Parámetros físico-químicos de los tratamientos del método de compostaje.

Variable		Muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T3	pH	8,0	8,4	7,3	6,8	7,0	6,9	8,0	6,2
	T°C	26,8	27,0	27,0	28,2	27,6	26,4	25,2	27,8
T4	pH	7,2	7,4	7,6	6,4	6,6	6,5	7,1	6,8
	T°C	26,6	26,8	28,0	26,5	27,3	25,6	25,0	28,6
Testigo	pH	9,3	9,0	8,8	8,6	8,4	8,1	7,9	7,6
	T°C	27,0	26,7	27,4	26,0	26,2	25,2	27,0	26,8

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

Para el T3 hubo un descenso constante de la temperatura desde el muestreo 4 hasta el 7 con valores de 27,6 – 25,2 °C, respectivamente (ver Tabla 13 y Figura 17); ocurrió lo mismo para el T4, en los muestreos 5-7 con valores de 27,3 y 25,0 °C; evidenció un incremento en el comportamiento de temperatura exactamente del muestreo 7 al 8 con medias de 25,0 y 28,6 °C, lo cual es sustentado en la generación de calor a partir de la reproducción sexual e ingesta de los individuos juveniles de las lombrices, que inician su ciclo de actividad sexual alrededor de la semana 12 y 16 (correspondientes a la fecha de muestreo posterior a la inserción de lombrices), elevando así en este punto, la temperatura (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

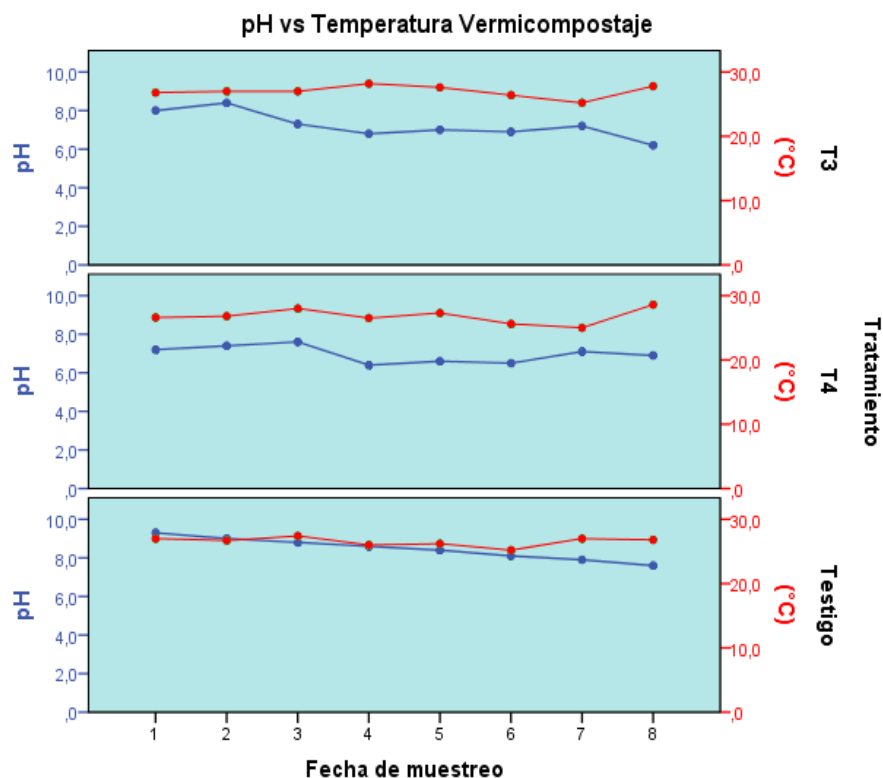


Figura 17. Relación temperatura y pH tratamientos de vermicompostaje. Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

Asumiendo varianzas semejantes entre T3, T4 de 0,712 y 0,282, respecto al testigo, además de los niveles de significancia bilateral superiores a 0,05, se establece que no hay diferencia entre tratamientos para el caso de temperatura (ver Tabla 14). Es importante resaltar que la temperatura en los métodos de vermicompostaje oscilaron de manera prácticamente constante debido al control que se le dio en su ejecución para evitar altas temperaturas que pudiesen ocasionar mortalidad de lombrices.

En cuanto a los niveles de pH registrados, se presentaron comportamientos entre 7,2 y 6,9 para los T3 y T4. con niveles ligeramente neutros por la formación de los compuestos húmicos, resultado de la acción de la lombriz. El testigo mantuvo niveles de alcalinidad con una media de 8,4 (ver Figura 17 y Tabla 13).

La prueba de *T-student* para pH estableció intervalos de confianza para T3 entre -1,921 y -0,553; para T4 entre -2,048 y -0,9519, afirmando diferencias significativas para los niveles de pH entre tratamientos y el testigo (ver Tabla 14).

Tabla 14.

Prueba de medias en niveles de pH y temperatura en el método de vermicompostaje.

Tratamiento	Variable	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba de T-student para igualdad de medias		
		(Sig)	Sig (bilateral)	95% intervalo de confianza para la diferencia	
				Inferior	Superior
T3	pH	0,817	0,002	-1,9214	-0,5536
	Temperatura °C	0,712	0,281	-0,4227	1,3477
T4	pH	0,442	0,000	-2,0481	-0,9519
	Temperatura °C	0,282	0,597	-0,7788	1,3038

Fuente Machuca & Muñoz, 2018; a partir de información obtenida de IBM-SPSS Statistics.

4.3.2.2 Contenido de humedad.

Los porcentajes de humedad en los tratamientos desarrollados para el método de vermicompostaje presentó fluctuaciones en T3 entre 32,1 y 85% para una media de 63,28%; en T4 también se evidenciaron fluctuaciones a lo largo del proceso de descomposición, sin embargo, los valores observados fueron de 39,6 y 64,4%, para una media de 54,15%. El testigo, a diferencia de ambos tratamientos, presenta una media de 10,51%, teniendo en cuenta que sus variaciones oscilaron entre 9,1 y 12,1%. (Ver Tabla 15).

En el T3 del muestreo 7 al 8, se evidencia un incremento en la humedad, relacionado con la humectación, en la alimentación y en el control de humedad.

Tabla 15.

Contenido de humedad en los tratamientos del método de vermicompostaje.

	Variable	Muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T3	Humedad (%)	73,3	75,0	51,0	85,0	66,3	47,3	32,1	76,2
T4		57,6	46,3	64,4	57,6	57,5	39,6	55,4	55,0
Testigo		12,1	11,9	9,1	10,8	8,0	11,7	9,6	10,3

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

De este modo, se asumieron varianzas iguales de 0,00 (T3) y 0,002 (T4), con un nivel de significancia bilateral de 0,000 para ambos, indicando así discrepancias entre tratamientos y el testigo (ver Tabla 16).

Tabla 16.

Prueba de medias para contenidos de humedad en el método de vermicompostaje.

tratamiento	Variable	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba de T-student para igualdad de medias	95% intervalo de confianza para la diferencia	
		(Sig)	Sig (bilateral)	Inferior	Superior
T3	Humedad (%)	0,000	0,000	37,79186	67,87599
T4	Humedad (%)	0,002	0,000	37,24560	50,17994

Fuente Machuca & Muñoz, 2018; a partir de información obtenida de IBM-SPSS Statistics.

4.3.2.3 Contenido de macronutrientes.

El contenido de macronutrientes presentes en los tratamientos del método de vermicompostaje, se analizó bajo la misma metodología empleada para el método de compostaje; por ende, la Figura 18, muestra el comportamiento de N y K a lo largo del periodo de investigación.

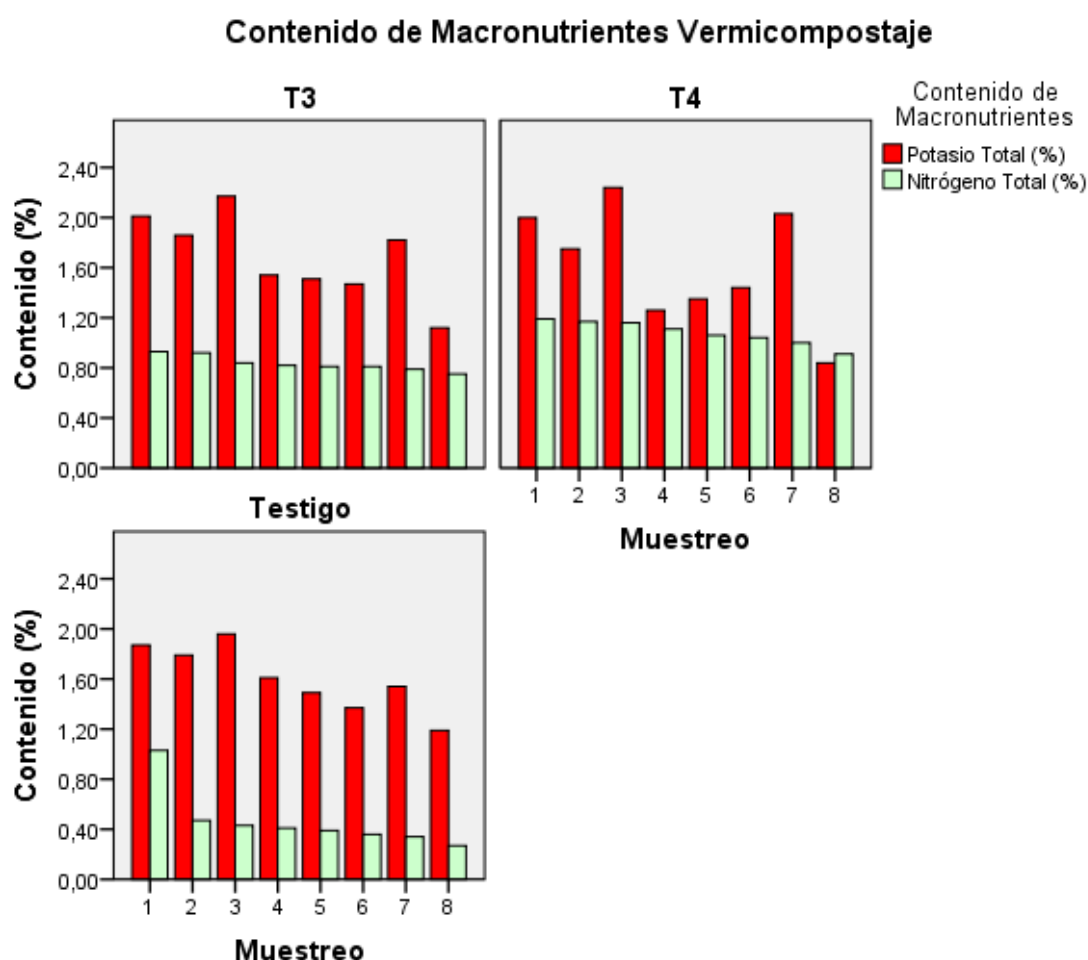


Figura 18. Contenido de macronutrientes en tratamientos de vermicompostaje. Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

4.3.2.3.1 Nitrógeno

Con los muestreos realizados y los análisis en laboratorio, fue posible revelar las cantidades de N presente en T3, T4 y testigo, de este modo se establecieron porcentajes muy cercanos al 1% en T3 y T4 con 0,75 y 0,91%. Ambos tratamientos evidenciaron una disminución paulatina durante los 8 muestreos, sin embargo, el T4 registró los contenidos de N más altos. En el caso del testigo, se pudo evidenciar una pérdida significativa de N durante su proceso de desnitrificación, con un descenso de 1,03 a 0,27% (ver Tabla 17 y Figura 18).

La cantidad de nitrógeno relacionado anteriormente, se debe a las transformaciones químicas que sufre el N durante el vermicompostaje: amonificación, nitrificación y desnitrificación (Apaza, Mamani, & Sainz, 2015).

Tabla 17.

Contenido de nitrógeno en los tratamientos del método de vermicompostaje.

Variable		Muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T3	N (%)	0,93	0,92	0,84	0,82	0,81	0,81	0,79	0,75
T4		1,19	1,17	1,16	1,11	1,06	1,04	1,00	0,91
Testigo		1,03	0,47	0,43	0,41	0,39	0,36	0,34	0,27

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

El contenido de nitrógeno entre el T4 y testigo establece un intervalo de confianza entre 0,42342 y 0,81158, estableciendo discrepancias entre ambos; es el mismo caso en el T3 respecto al testigo con intervalos de confianza de 0,18534 y 0,55716 (ver Tabla 19).

4.3.2.3.2 Potasio

Los niveles de K en los T3 y T4 alcanzaron picos de 1,86 y 2,24%, debido a la alimentación suministrada para las lombrices las cuales contenían altos niveles de nutrientes, a su vez, la disminución de este, se debe a la ingesta de las mismas para la producción de humus, sin embargo, el T3 presentó niveles de K más altos que en el T4, para una media de 1,69% (ver Figura y Tabla 18).

Tabla 18.

Contenido de K en los tratamientos del método de vermicompostaje.

	Variable	Muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T3	K (%)	2,01	1,86	2,17	1,54	1,51	1,47	1,82	1,12
T4		2,00	1,75	2,24	1,26	1,35	1,44	2,03	0,84
Testigo		1,87	1,79	1,96	1,61	1,49	1,37	1,54	1,19

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

Los intervalos de confianza para ambos tratamientos vs el testigo, incluyen el “0”, por tal motivo se asume que no existen diferencias significativas (García, González, & Jornet, 2010), en cuanto los contenidos de nutrientes de este método (ver Tabla 19).

Tabla 19.

Prueba de medias para contenidos de macronutrientes en el método de vermicompostaje.

Tratamiento	Variable	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba de T-student para igualdad de medias	95% intervalo de confianza para la diferencia	
		(Sig)	Sig (bilateral)	Inferior	Superior
T3	Nitrógeno (%)	0,160	0,001	0,18534	0,55716
	Potasio (%)	0,361	0,583	-0,23953	0,40953
T4	Nitrógeno (%)	0,334	0,000	0,42342	0,81158
	Potasio (%)	0,062	0,954	-0,39732	0,41982

Fuente Machuca & Muñoz, 2018; a partir de información obtenida de IBM-SPSS Statistics.

4.3.2.4 Densidad real, aparente y porosidad.

En la Tabla 20 se evidencian los valores registrados para la Dr, Da y porosidad a lo largo de los 8 muestreos realizados, en este caso para vermicompostaje:

Tabla 20.

Densidad real, aparente y porosidad tratamientos del método de vermicompostaje.

	Variable	Muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T3	Dr (g/cm ³)	0,61	0,63	0,0	0,64	0,64	0,68	0,63	0,86
	Da (g/cm ³)	0,344	0,320	0,300	0,264	0,282	0,305	0,328	0,272
	Porosidad (%)	43,61	49,11	50,27	58,92	55,81	55,40	48,27	68,25
T4	Dr (g/cm ³)	0,79	0,84	0,71	1,00	0,95	0,92	0,90	0,92
	Da (g/cm ³)	0,336	0,306	0,248	0,336	0,292	0,316	0,340	0,264
	Porosidad (%)	57,50	63,39	65,15	66,29	69,13	65,72	62,18	71,32

Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

4.3.2.4.1 Densidad Real (Dr).

Los datos obtenidos para densidad real en T3 y T4 oscilan entre 0,60 y 0,86 g/cm³, y 0,79 y 1 g/cm³; datos que se comportan muy similares a los obtenidos para T1 y T2; es decir que para los 4 tratamientos cumplen con las características de un humus (Salamanca & Sadeghian, 2005).

4.3.2.4.2 Densidad Aparente (Da).

Para los tratamientos T3 y T4, los datos tienen un rango de 0,26 y 0,34 g/cm³; y 0,24 y 0,33 g/cm³, respectivamente; los registros muestran que igual que T1 y T2 cumplen con los parámetros establecidos para densidad aparente en la NTC 5167 (<0,6 g/cm³).

4.3.2.4.3 Porosidad

La porosidad se relaciona con suelos bien aireados y con buen drenaje, pues este es el caso de los T3 y T4 que registraron un porcentaje de porosidad alta 78% y 79% respectivamente, superando el

50% de la totalidad, es importante resaltar que la porosidad de un suelo, representa el porcentaje de espacios existentes en el mismo frente al volumen total (UniOvi, S.f).

4.3.3. Análisis de parámetros físico-químicos.

Con base a los resultados obtenidos en la evaluación de parámetros físico-químicos y el pertinente tratamiento estadístico, fue posible rechazar la hipótesis nula, que indica que la calidad del abono es igual entre tratamientos según su nivel de significancia bilateral, a pesar de haber utilizado sustratos diferentes; se acepta la hipótesis alternativa que establece diferencias entre tratamientos a partir de sus parámetros físico-químicos luego de haber utilizado sustratos diferentes.

Tomando como referencia la Tabla 21 donde se establecen los estándares de calidad propuestos para un abono orgánico maduro, por la FAO, (2013) y el ICA, (2015), el tratamiento que cumple con estos parámetros es T4, perteneciente al método de vermicompostaje, con niveles de pH prácticamente neutros de 6,8, una temperatura de 28 °C, humedad del 55% y contenidos de macronutrientes del 0,91 y 0,84% para N y K; aunque el T3 también pertenece al método de vermicompostaje este presenta niveles de pH ligeramente ácidos de 6,2; contenidos de humedad de 76,2% y K de 1,12%, sobrepasando los parámetros óptimos.

En cuanto a los T1 y T2 del método de compostaje, presentaron pH ligeramente neutros y una temperatura óptima, sin embargo, sus contenidos de humedad fueron bajos entre 38,2 y 40,9%, además de los niveles de N los cuales fueron bajos en comparación a los demás tratamientos con medias de 0,55 y 0,56%. En cuanto al K presente para estos tratamientos, se resaltaron óptimos con 0,98 y 0,75%, valores aceptables dentro del rango establecido.

El proceso de desnitrificación evidenciado durante los tratamientos fue controlado directamente por variables como humedad, pH, temperatura, concentración de oxígeno (porosidad), contenidos de carbono (virutas de madera y material orgánico vegetal). (Tiedje, 1988; Vermoesen *et al.*, 1993; Nelson y Terry, 1996 [citado en Rodríguez y Toro 2006]).

Finalmente, al comparar estos resultados con el tratamiento testigo, fue posible evidenciar que el proceso de estabilización de la equinaza durante los 140 días dio como resultado un pH alcalino de 7,6; contenidos de humedad significativamente bajo de 10,3% y niveles de N y K muy deficientes, lo que establece que durante 140 días de descomposición la equinaza en un proceso completamente natural sin tratamiento alguno, aún no alcanza los parámetros óptimos para utilizarse como abono orgánico.

Tabla 21.

Parámetros físico-químicos del abono orgánico óptimo.

Parámetro	Rango ideal compost maduro (3-6 meses)
pH	6,5 – 8,5
Temperatura	Ambiente
%humedad	45-60%
Nitrógeno	~1%
Potasio	0,3%-1,0%

Fuente Machuca & Muñoz, 2017 con información obtenida por el ICA (2015) y Román, Martínez, & Pantoja, [FAO] (2013).

4.4. Efecto del abono sobre la producción de biomasa del pasto

Para determinar la producción de biomasa, luego de aplicar los tratamientos propuesto, las variables a tener en cuenta fueron altura y peso de los individuos de *B. humidicola*; los resultados obtenidos, son relacionados a continuación en la Tabla 22.

Tabla 22.

Resultados efecto del abono sobre la producción de biomasa.

T1		T2		T3		T4		Testigo	
h (cm)	P (g)	h (cm)	P (g)	h (cm)	P (g)	h (cm)	P (g)	h (cm)	P (g)
REPETICIÓN I									
13	0,40	19	0,40	16	0,70	22	0,92	17	0,60
17	0,60	23	0,67	21	0,86	20	0,82	16	0,60
12	0,27	24	0,78	22	0,90	26	1,23	10	0,22
21	0,82	22	0,90	17	0,60	28	1,25	17	0,60
15	0,56	22	0,90	15	0,40	29	1,30	11	0,25
12	0,27	21	0,82	13	0,40	29	1,30	19	0,67
17	0,60	21	0,82	15	0,33	27	1,20	14	0,50
12	0,58	20	0,82	12	0,27	28	1,22	12	0,40
13	0,40	19	0,70	18	0,78	20	0,90	10	0,27
13	0,40	17	0,60	20	0,82	21	0,82	10	0,33
14	0,27	21	0,82	21	0,90	23	0,98	11	0,27
15	0,32	17	0,60	21	0,89	22	0,89	10	0,31
REPETICIÓN II									
11	0,25	10	0,22	25	1,23	21	0,90	13	0,30
10	0,22	14	0,27	23	1,20	6	0,12	14	0,35
9	0,15	12	0,32	23	1,20	17	0,73	16	0,43
10	0,22	14	0,34	27	1,29	23	0,90	15	0,40
9,2	0,31	13	0,30	28	1,30	22	0,93	14	0,38
12	0,30	11	0,25	28	1,30	21	0,89	14	0,37
11	0,25	13	0,34	24	0,90	19	0,86	15	0,43
8	0,15	11	0,25	20	0,92	17	0,74	16	0,56
9	0,18	10	0,22	21	0,90	18	0,80	15	0,50
8	0,20	10	0,22	19	0,87	21	0,90	14	0,46
8	0,20	11	0,25	23	0,96	17	0,73	15	0,56
9	0,18	10	0,22	23	0,96	17	0,73	16	0,53

Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

Se realizó un análisis comparativo para las variables de respuesta altura (cm) y peso (g), a una vía de clasificación de efectos fijos; como se describen en la Tabla 23, se generó una media de altura de 16,80 cm en las unidades experimentales en general, con un coeficiente de asimetría positivo lo cual implica que las mediciones registran una proporción mayor por encima de la mediana registrada, es decir que son más los pastos de altura superior al promedio (ver Figura 19), lo cual sugiere diferencias entre tratamientos. En cuanto a la variable peso se registró un coeficiente

de asimetría positivo igual que para la altura, mostrando así que existe relación directa entre ambas variables (ver Tabla 23).



Figura 19. Individuo *Brachiaria humidicola* - media establecida en todas las unidades experimentales. Fuente Machuca & Muñoz, 2017.

Tabla 23.

Estadísticos descriptivos variables altura y peso del pasto.

	Estadísticos descriptivos						
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Asimetría	Error típico
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico
Altura del pasto (cm)	120	6	29	16,80	5,520	,305	,221
Peso del pasto (g)	120	,12	1,30	,6113	,33122	,436	,221
N válido (según lista)	120						

Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

4.4.1. Altura y peso.

Con el fin de juzgar la hipótesis previamente establecida en la que se cuestiona el hecho de que la media poblacional para la altura de los pastos sea igual a pesar de haber aplicado diferentes tratamientos para su fertilización, vs que exista diferencia por lo menos en dos de estos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) (ver Tabla 24), en el que se determinó el efecto que tiene la aplicación de los tratamientos en cada unidad experimental respecto a la altura del pasto.

Tabla 24.

Cálculo de ANOVA.

ANOVA					
Altura del pasto (cm)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1722,665	4	430,666	27,721	,000
Dentro de grupos	1786,588	115	15,5360		
Total	3509,253	119			

Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

La Tabla 24, evidencia que, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, según el nivel de significancia arrojado, por ser inferior a $\alpha = 0,05$, es decir que existe diferencia significativa en por lo menos dos tratamientos vs la altura del pasto.

Para definir cuáles de los tratamientos, presenta diferencias entre sí y a su vez cuál o cuáles generan mayor producción respecto a la altura del pasto, se realizó una prueba de Tukey (ver Anexo 3). La prueba de Tukey evidenció que no existe diferencia significativa entre T1, T2 y el testigo (Grupo 1), de la misma forma que no existe diferencia entre T3 y T4 (Grupo 2); sin embargo, entre ambos grupos si existe diferencia, puesto que como se evidencia en la Figura 20 las medias correspondientes a los T3: 20,63 y T4: 21,83; están por encima de las medias para T1: 12,01, T2:

16,04 y testigo 13,92. De este modo, se establece que T3 y T4 correspondientes al vermicompostaje generan mayor producción en el pasto respecto a la variable altura.

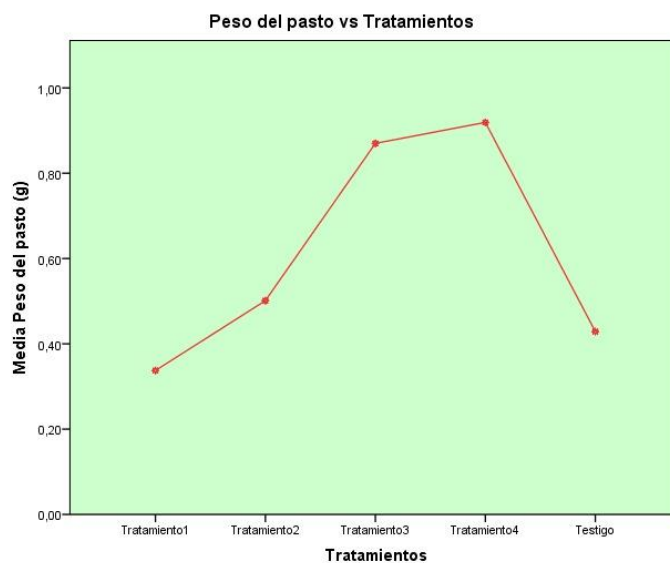


Figura 20. Gráfica de medias - efecto de los tratamientos sobre el peso del pasto. Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

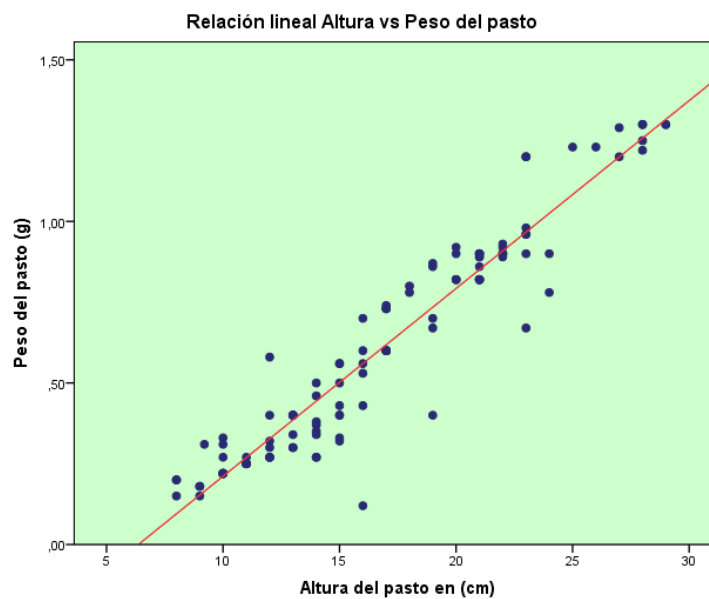


Figura 21. Diagrama de dispersión entre peso y altura del pasto. Fuente Autores, 2018.

Una vez establecidas las diferencias entre los grupos 1 y 2 determinadas por el estadístico de Tukey, se planteó la relación existente entre las variables peso y altura. La Figura 21, correspondiente a un diagrama de dispersión realizado entre las variables peso y altura, mostró la relación directamente proporcional existente, lo que evidencia que, a mayor altura del pasto, mayor es su peso y viceversa, esta teoría se sustentó mediante la prueba de *T-student*.

En la Tabla 25, la prueba *T-student* arrojó una correlación de 0,960; dado que el rango de medida se encuentra entre -1 y 1; se establece que el coeficiente es muy cercano a 1 es decir que las variables altura y peso tienen una asociación lineal positiva y que las dos variables tienen muy buena correlación (0,80-1,00).

Para la variable peso se determinó una asociación lineal vs la altura del pasto y que los tratamientos influyen en el peso de manera proporcional a la altura.

Tabla 25.

Prueba T- student de medias para altura y peso del pasto.

Correlaciones de muestras relacionadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	Altura del pasto (cm) y Peso del pasto (g)	120	.960	.000

Fuente Machuca & Muñoz, 2018

La Figura 22, ilustró la variación del peso respecto a cada uno de los tratamientos, es decir se observó por encima las medias de T3 y T4; el comportamiento fue muy similar a lo ocurrido con la variable altura; una vez más se afirma que la producción de biomasa de los pastos es mejor si se aplican los tratamientos de vermicompostaje.

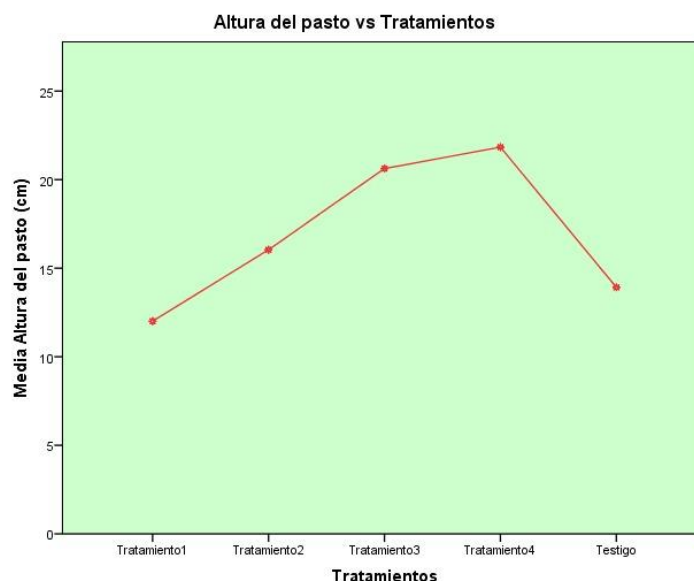


Figura 22. Gráfica de medias - Relación de altura entre tratamientos. Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

4.4.2. Análisis del efecto de aplicación del abono sobre el pasto.

Con lo anterior y a partir de los datos registrados en la Tabla 22, respecto a la producción de biomasa del pasto *B. humidicola*, se desataca que la aplicación de abono orgánico en las unidades experimentales, arrojaron mejores resultados a comparación de la parcela que no fue abonada (testigo), esto se debe al contenido de N y K presentes en cada tratamiento y a sus propiedades físico-químicas, útiles en la absorción de nutrientes en el pasto.

Finalmente, las unidades experimentales abonadas con T3 y T4 pertenecientes al método de vermicompostaje registraron individuos con alturas desde 13 a 22 cm y peso desde 0,4 a 0,9 g para T3; con T4 desde 20 a 29 cm y de 0,9 a 1,3 g, resaltando un efecto positivo posterior a su aplicación en contraste con los individuos del tratamiento testigo los cuales presentaron de 10 a 19 cm de altura y un peso de 0,22 a 0,67 g. Aunque T3 y T4 pertenecen al vermicompostaje, T4 se destacó como superior en cuanto a la producción del pasto. El aplicar una dosis de 300 g.m^{-2} de abono, fue suficiente para que los individuos logaran una producción más efectiva frente al testigo.

4.5. Recomendaciones de manejo del residuo equinaza

Teniendo en cuenta que la generación de equinaza en el CEG fue de 396,40 Kg/mes, se propuso implementar una guía de manejo para aprovechar este residuo, con el fin de mitigar los impactos relacionados al medio ambiente; lo anterior logrando garantizar áreas de trabajo más limpias y seguras, promoviendo un entorno más ameno para los clientes, administrativos y dando manejo a los puntos críticos identificados en el ciclo productivo.

Tomando como referencia el trabajo en campo y el resultado de los análisis en laboratorio para cada uno de los tratamientos, se propuso la implementación de una cama vermicompostera como método aprovechamiento de los RSO, tomando como referencia los sustratos establecidos en el T4.

Las Tablas 26 y 27 evidencian la práctica de gestión sugerida para los residuos identificados con anterioridad; procedimientos que harán de esta una propuesta aceptable en la entidad, trayendo consigo beneficios económicos y ambientales.

Tabla 26.

Recomendaciones de manejo del material orgánico

Gestión de la equinaza a partir de su generación		
No.	Actividad	Descripción
1	Recolección	Limpiar y recolectar los residuos equinaza y MOV proveniente de cada uno de los establos en CEG.
2	Transporte	Transportar la materia orgánica generada por los equinos hasta el área de almacenamiento.
3	Almacenamiento	El material orgánico será almacenado en una de las pesebreras cubiertas vacías de la entidad, retiradas de las que ocupan los animales, con el fin de facilitar la carga y descarga del residuo. El área destinada para el almacenamiento del residuo deberá estar alejado de estanques o pozos de agua, evitando lixiviación de nutrientes hacia aguas subterráneas o superficiales.
4	Cuantificación	La cantidad de residuos generados serán pesados y reportados en las fichas correspondientes al formato de pesaje de residuos sólidos, teniendo en cuenta la zona en la que fueron generados (ver Anexo 4).

Tabla 26. (Continuación)

Gestión de la equinaza a partir de su generación		
No.	Actividad	Descripción
5	Implementación cama vermicompostera	Establecimiento de una cama en concreto para vermicomposteo (medidas 140 cm ancho X 60 cm alto X 300 cm largo, con una pendiente $\Rightarrow$ 5). Para adicionar la equinaza y MOV, previamente triturado y humedecido (ver Figura 23). Siguiendo las indicaciones del modelo piloto, se agregan 10 cm de tierra negra como base cama donde después se introducen 7 kg de organismos recicladores de nutrientes <i>Eisenia foetida</i>. Y 10 cm de alimento, cada 8 días. Es de resaltar que la vermicompostera debe estar cubierta bajo techo. Para la recirculación de lixiviados se propuso un desagüe lateral en tubería de PVC que condujera a un recipiente de almacenamiento, útil para recoger y humectar la vermicompostera. La cama vermicompostera deberá ser ubicada en un lugar que esté protegido del sol, viento y lluvias, con el fin de evitar inundaciones o goteras. Esta técnica requiere una persona a cargo una vez a la semana, para las labores de recolección, acondicionamiento y distribución del sustrato.
6	Obtención de abono	Dado el proceso de estabilización del material orgánico (producción de abono), se sugiere comercializar el producto con sello CEG, además del uso para la aplicación sobre el pasto.

Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

Las recomendaciones planteadas anteriormente, fueron enfocadas de manera que el resultado de este sistema de aprovechamiento, generara un producto orgánico (abono) que a largo plazo fuese presentado al público como un abono con características sobresalientes respecto a otros, incluyendo en su ciclo productivo el residuo equinaza y MOV.

Tabla 27.*Condiciones de la vermicompostera propuesta*

Condiciones de la vermicompostera	
No.	Descripción
1	Se recomienda evitar la vinculación de cualquier material inorgánico como vidrio, residuos de alto riesgo biológico, etc. ya que para este tipo de residuos se propone otras medidas de disposición, estos influyen sobre el desarrollo de las lombrices.
2	Es de resaltar que las lombrices soportan mejor la sequía que el exceso de humedad, puesto que la cantidad de oxígeno se reduce por desplazamiento presentando fermentaciones y logrando que los animales escapen o haya muerte masiva (Camelo, S.f). Por ello se propone una técnica de medición sencilla de la humedad: Prueba de puño: Consiste en adicionar agua hasta lograr que cuando se apriete el abono con el puño se generen de 8 a 10 gotas indicando humedad al 80%.
3	Teniendo en cuenta que la equinaza es fuente principal de nitrógeno, se recomienda mezclar con principales fuentes de carbono como lo son los recortes de hierba, virutas de madera, cascarilla y heno.
4	En caso de no contar con una base en concreto para la vermicompostera, se recomienda el uso de una membrana, de manera que las lombrices no migren.
5	Es necesario, mantener la cama en ausencia de luz, para ello se recomienda el establecimiento de una malla de poli sombra que cubra los posibles ingresos de luz, no obstante, la zona en donde se ubicará la vermicompostera debe ser techada.

Fuente Machuca & Muñoz, 2018.

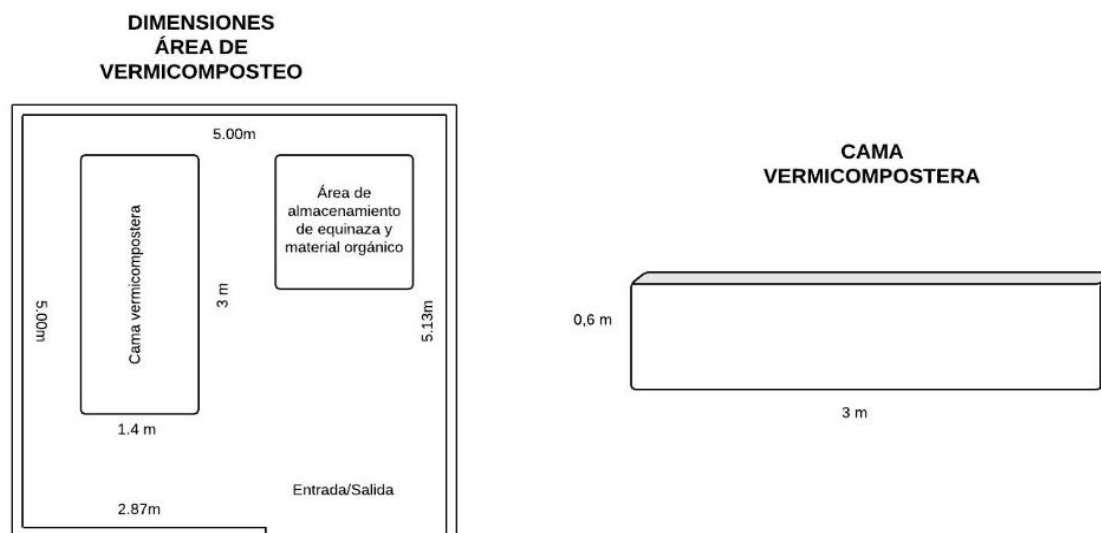


Figura 23. Medidas y estructura propuesta para cama vermicompostera Fuente Autores, 2018.

Para la aplicación sustentable del abono orgánico generado se centra en dos aspectos fundamentales:

Contenido nutricional: Teniendo en cuenta la evaluación de los parámetros físico-químicos del abono orgánico, se identificaron contenidos de nutrientes favorables para la venta del abono; N: 0,91% y K: 0,84%.

Dosis a aplicar: Teniendo en cuenta la dosis aplicada a escala piloto, se logró establecer la demanda de 3,306 Ton para abonar una hectárea, obteniendo una producción en biomasa favorable.

El planificar una correcta gestión de la equinaza en CEG durante esta investigación, dio como resultado la certificación como la primera empresa a nivel nacional para la operación de actividades de cabalgata de turismo de aventura planteado en la NTS-AV 014 (ver Anexo 5), apostándole a la continua búsqueda de sostenibilidad para el cuidado y conservación del medio ambiente natural durante la prestación de sus servicios; a su vez, el desarrollo de esta propuesta apunta a un equilibrio entre los aspectos ambientales y económicos del desarrollo turístico que garantizará la sostenibilidad de CEG a largo plazo, permitiendo un futuro acercamiento a la certificación de la NTS-TS 003.

5. Conclusiones

El desarrollo de los métodos de compostaje y vermicompostaje para el manejo de la equinaza, permitió concluir que el proceso de degradación de este residuo es mucho más rápido si es aprovechado para la producción de abono orgánico, resaltando que el producto obtenido del vermicompostaje presentó mejores características como color y estructura, debido a la acción de *Eisenia foetida*,

La prueba de medias *T-student* permitió establecer diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a parámetros físico-químicos, estableciendo que los tratamientos implementados por cada método presentaron mejores características en las variables analizadas respecto al testigo, sin embargo, fue el abono generado por el T4 de vermicompostaje el que logró niveles óptimos de pH (6,8), temperatura (28°C), humedad (55%), N (0,91%) y K (0,84%).

La evaluación del abono orgánico obtenido, mediante el estadístico de Tukey logró determinar el efecto que tiene la aplicación de este sobre la producción de biomasa del pasto *Brachiaria humidicola*; así los T3 y T4 alcanzaron medias de altura de 20,63 y 21,83 cm, por encima del testigo el cual registro una altura de 13,92 cm. De este modo se estableció una asociación lineal positiva entre el peso y la altura, con una correlación de 0,96, identificando que la aplicación de los tratamientos influye en el peso de manera proporcional.

Finalmente, el método de vermicompostaje (T4) como alternativa de aprovechamiento de la equinaza, se resalta como un mecanismo limpio y de fácil ejecución el cual, a gran escala, disminuiría significativamente los puntos críticos por acumulación y reduciría los impactos negativos asociados; generando un nuevo producto el cual podría ser comercializado por la entidad, convirtiendo de residuo a recurso.

6. Discusión

- Implementar una técnica de vermicompostaje o compostaje, reducirá los impactos directos y adversos sobre el entorno y a su vez creará un beneficio económico de quienes lo desarrollen correctamente. El pilar fundamental de una buena práctica, se centra en la gestión de los residuos y la preparación de los sustratos a degradar. El uso de diferentes fuentes de material orgánico, producirá un abono con mejores características y un alto contenido nutricional.
- Tomando como sustrato principal la equinaza, es posible obtener un producto con altos índices de calidad a partir de un buen manejo, controles operacionales y de seguimiento de por lo menos dos veces a la semana, esto posibilita una mayor diversidad de usos del abono orgánico generado, incluso se podría optar por una estrategia de mercado viable.
- La ejecución de esta propuesta requiere de un área libre, alejada de agentes externos que puedan irrumpir o entorpecer la investigación, del mismo modo, es importante tener presentes los puntos y fuentes de generación de RSO para mejores resultados durante el proceso de estabilización.
- Aunque ambas son consideradas técnicas limpias y sostenibles, requieren de cierto cuidado y control durante su ejecución, se recomienda tener en cuenta los parámetros físico-químicos óptimos de un abono orgánico establecidos en la Tabla 21, para ello, se debe tener control respecto a las variables pH y temperatura, puesto que, según los resultados obtenidos en la fase de identificación de parámetros, estas se destacan como determinantes en el proceso de estabilización y maduración de abono generado, para alcanzar los niveles adecuados de K, N y el % de humedad.
- Se recomienda llevar a cabo el análisis de datos máximo 5 días después del muestreo, con el fin de que los resultados reales no se vean afectados.

- Es recomendable incrementar el tiempo de abonado en el pasto, para una mejor producción, teniendo en cuenta que Pérez B & Lascano, (1992) afirman que esta especie vegetal logra alcanzar 1 m de altura, si bien los resultados obtenidos no superaron los 21,83 cm, debido a que el tiempo de fertilización fue de 60 días.

7. Bibliografía

- Aburto, F. (2008). *Actividad en el suelo y posible uso en cero labranza de la lombriz roja californiana*. (Laboratorio de suelos y agua). Obtenido de Universidad de Chile: <http://www.sap.uchile.cl/descargas/agronomia/lombrices.pdf>
- Acosta, C. M., Solís, O., Villegas, Ó. G., & Cardoso, L. (2013). *Precomposteo de Residuos Orgánicos y su Efecto en la Dinámica Poblacional de Eisenia foetida*. Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. Nota técnica.
- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo [AECID]. (2015). *Encuentro Iberoamericano sobre Gestión de Residuos en destinos turísticos*. Montevideo, Uruguay: Centro de Formación de la Cooperación Española. Relatoría.
- Arévalo, C. E. (2017). *Determinación de las Cantidades de Carbono y Nitrógeno Presentes en Lombricompost Producido a Partir de Dos Diferentes Sustratos (Material Vegetal y Estiercol de Caballo)*. Bogotá D.C: Trabajo de grado-Licenciatura en Biología.
- Arronis, V. (S.f). *Descripción y Adaptación de Forrajes*. Costa Rica y Canadá: INTA. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. .
- Asociación Ecología, Tecnología y Cultura [ETC] en los Andes, en convenio con la fundación ILEIA. (2004). De erosión de suelos a suelos de calidad. *LEISA. Revista de Agroecología*, 13 (3): 6-13.
- Apaza, E. E., Mamani, F., & Sainz, H. (2015). Sistema de compostaje para el Tratamiento de Residuos de hoja de Coca con la incorporación de tres activadores Biológicos, en el centro experimental de Kallutaca. Artículo de revista. *Universidad Pública El Alto-UPEA. Área de ciencias agrícolas, pecuarias y recursos naturales. Journal of the Selva Andina Biosphere.*, 3(2).
- Aya, J. F. (2015). *Estudio de factibilidad para Producción y Comercialización de Abono Orgánico a partir del Humus de Lombriz en el municipio de Ibagué-Tolima*. (Tesis de grado). Ibagué. p. 62: Universidad Nacional Abierta a Distancia. Escuela de Ciencias Administrativas Contables y de Negocios. Tecnología en Gestión Comercial y de Negocios.

- Badía, D., Ortiz, O., & Martí, C. (2016). *Experimentos didácticos sencillos con el suelo para la educación pre-universitaria*. (Guía de laboratorio). Huesca: Escuela Politécnica Superior. Universidad de Zaragoza .
- Barrera, J. L., Combatt, E. M., & Ramírez, Y. L. (2011). Efecto de abonos orgánicos sobre el crecimiento y Producción del Plátano Hartón (Musa AAB). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 5 (2): 186-194.
- Batioja, M., & Tovar, P. (2017). Actividades turísticas preferidas por habitantes de la localidad de Engativá. *Universidad Autonoma de Occidente de Cali*, 28-30. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/>
- Bonifaz, J. C. (2011). *Evaluación de diferentes niveles de humus en la producción primaria forrajera de la Brachiaria decumbens (pasto dalis) en la estación experimental pastaza*. Riobamba, Ecuador: Tesis de grado. Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. .
- Camelo, E. (S.f). *Alternativas de manejo ambiental para residuos sólidos agropecuarios en San Andrés isla*. Index. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Artículo de revista. 2(1): 18-19.
- Campos, S. C. (2010). *Evaluación de cuatro diferentes abonos orgánicos (humus, bokashi, vermicompost y casting), en la Producción primaria Forrajera de la Brachiaria brizantha*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Tesis de grado.
- CONPES 3874. (2016). *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Bogotá: Consejo Nacional de Política Económica y Social. Departamento Nacional de Planeación.
- Constitución política de Colombia . (1991). *Capítulo 3. Artículo 79, 80*. Bogotá: Actualización 2016. Corte constitucional. Consejo Superior de la Judicatura. Centro de Documentación Judicial. Biblioteca Enrique Low Murtra.
- de Santos, S., & Urquiaga, R. (2013). *Compostaje y Vermicompostaje domésticos*. España: Amigos de la Tierra- Asociación "Siempre en Medio". Boletín de Carpeta Informativa.
- Decreto 1713. (2002). Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Colombia, Bogotá. 6 de Agosto de 2002.
- Decreto 2981. (2013). Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. , Colombia, Bogotá. 10 de diciembre de 2013.

- Decreto Ley 2811. (1974). Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. , Colombia, Bogotá. Recuperado el 04 de Mayo de 2017.
- Docampo, R. (S.f). *Importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola*. Uruguay: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).
- Earth Green SAC. (2017). *Principios Básicos del Compostaje*. Obtenido de <http://www.earthgreen.com.co/aprenda-mas-pyr/74-principios-basicos-del-compostaje>
- EDESA S.A ESP. (2015). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Orgánicos Municipical*. Restrepo, Meta: Empresas de Servicios Públicos del Meta.
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). *Manual de procedimientos Analíticos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Departamento de Edafología. México.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (S.f). *Capítulo 3: Fertilizantes en cuanto a contaminantes del agua. Fertilizantes Orgánicos*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s05.htm>
- García, R., González, J., & Jornet, J. M. (2010). *Prueba de T para muestras Independientes*. España: Universidad de Valencia. InnovaMIDE.
- Gómez, J. C. (2013). *Manual de prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos*. Tolima, Colombia: Centro Agropecuario "La Granja". Servicio Nacional de Aprendizaje.
- GTC-24. (2009). *Gestión ambiental: guía para separación en la fuente de residuos sólidos*. Bogotá: Guía técnica colombiana 24.
- Heredia, E. (S.f). *Densidad Real, Aparente y Porosidad del Suelo*.
- Hernández, D., & Zabaleta, R. E. (2016). *Aprovechamiento de los residuos Sólidos Orgánicos generados en la Central de Abastos Valledupar, Mercabastos utilizando el proceso de Compostaje* . Valledupar, Cesar : Universidad Popular del Cesar. Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Tesis de grado.
- Hernández, O. A., Ojeda, D. L., López, J. C., & Arras, A. M. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Redalyc.org. Artículo de revista. *III*(3).
- Herrera, W. G. (2009). *Evaluación de aspersiones foliares de extractos orgánicos (equinaza y vermicompost) en el rendimiento de cultivo de lechuga y servicios desarrollados en la Escuela Nacional Central de la Agricultura*. Tesis de grado. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.

- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). *Cartilla para la elaboración de abono orgánico compostado en producción ecológico*. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/>
- Instituto Nacional Tecnológico de Nicaragua [INATEC]. (2016). *Manual de pastos y forrajes*. Nicaragua: Gobierno de Nicaragua.
- Jaramillo, G., & Zapata, M. L. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia*. Universidad de Antioquía. Medellín.
- Julca, A., Meneses, L., Sevillano, R., & Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica) versión On-line Vol. 24 Número 1.* , Universidad Nacional Agraria La Molina. Artículo de Revista. pp. 69-41.
- Junco, C. (2015). *Turismo y Capital Social. El caso de Turismo Vivencial Comunitario en Chacán* Tesis de grado. Cusco, Perú: Universidad Jaime I de Castellón.
- Lazcano, C., Gómez, M., & Domínguez, J. (2008). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Departamento de Ecología e Biología Animal. Universidade de Vigo. Spain*, 72(7): 1013-1019.
- Ley 9/1979. (1979). *Medidas sanitarias*. Bogotá: Secretaria Distrital de Salud.
- Ley 99. (1993). *Por la cual se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA)*. Bogotá: Congreso de Colombia.
- Lim, S. L., Lee, L. H., & Wu, T. Y. (2015). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. Artículo de revista. *El Server, III Parte A*(p 262-278), School of Engineering. Monash University.
- Machicado, J., Mordo, A., González, E., Rodríguez, L., Delgadillo, J., Escobar, P., . . . Liberos, J. (2013). *Impacto Económico y Valor Social y Cultural de Cuatro Festivales. Evaluación de tres Mercados Culturales*. Informe. Colombia: Universidad Santiago de Cali-Ministerio de Cultura .
- Mellado, J. A. (S.f). *Diseños experimentales*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pdf. México.
- Muñoz, J.C., Muñoz, J.A., Montes, C. (2015). Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayán, Cauca. Artículo de revista. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 13 (1): 73-82

- NTC 5167. (2011). *Productos para la Industria agrícola. Productos Orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo*. Obtenido de Productos para la Industria Agrícola. Productos orgánicos. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- NTS-AV 014. (2015). Norma Técnica Sectorial requisitos para la operación de Actividades de Cabalgata en turismo de Aventura. *ICONTEC internacional*.
- NTS-TS 003. (2016). Norma Técnica Sectorial de Turismo Sostenible. *MINCOMERCIO INDUSTRIA Y TURISMO*.
- Olivera, Y., Machado, R., & del Pozo, P. (2006). Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. *Pastos y Forrajes*. 29(1):1-5.
- Ortiz, Á. A. (2010). *Evaluación del efecto de tres fertilizantes orgánicos a tres dosis diferentes sobre la tasa de Crecimiento y rendimiento del Frijol (Phaseolus vulgaris) L. var. Cerniza, en condiciones de Agricultura Urbana*. Bogotá: Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana.
- Pérez, A. R., & Lascano, C. E. (1992). Pasto humidicola (*Brachiaria humidicola* (Schweickt, Rendle). *Colección histórica*. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Ramírez, F., Gómez, J., & Flórez, V. (2011). Evaluación del Fertilizante Orgánico Líquido de Lombriz San Rafael en el Cultivo de Rosa cv. Classy. Artículo de revista. *Facultad Nacional de Agronomía*. 64(2): 12-14
- Ramírez, M. Á., & Sarria, J. F. (2009). *Herramienta para el aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Instituciones Educativas de hasta básica Secundaria*. Tesis de grado. Santiago de Cali: Universidad ICESI. Ingeniería Industrial.
- Resolución 00074. (2002). Reglamentación para productos agropecuarios . *Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural*.
- Resolución 00150. (2003). Reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelo. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario ICA.
- Resolución 6896. (2016). Requisitos para la expedición de la Guía Sanitaria de Movilización Interna GSMI. *Instituto Colombiano Agropecuario* .
- Rodríguez, C. (2002). *Cursos de Introducción a la Producción Animal: La Intensificación Ganadera como Proceso de Producción de Residuos*. Artículo Científico. Argentina: Facultad de Agronomía y Veterinaria- Universidad Nacional de Río Cuarto .

- Rodríguez, N & Toro, C (2006). *Estandarización del tiempo de incubación y concentración de CaCO_3 , $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ y KNO_3 para la prueba de NMP con bacterias nitrificantes y desnitrificantes, usando como matriz compost*. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor, Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: Food and Agriculture Organization [FAO].
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2005). *La densidad aparente y su densidad con otras propiedades en Suelos de la Zona cafetera colombiana*. Chinchiná, Caldas: Artículo científico. *Cenicafe* 54(4) p. 381-397.
- Sánchez, Á. (2008). *Elaboración, caracterización y comparación de abonos orgánicos a partir de equinaza y bovinaza*. Tesis de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Química.
- Sánchez, D. M., Bedoya, C. D., Valderrama, A., & Suárez, J. C. (2013). Desempeño agronómico de dos Variables de Arroz en la Amazonia Colombiana. *Ingenierías & Amazonia*, 6(1):12-18.
- Sepúlveda, L., & Alvarado, J. (2013). *Manual de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de Sistemas de Compostaje y Lombricultura en el Valle de Aburrá*. Medellín .
- Shere, A. (2012). *Reducing the Environmental Impact Of Horse Keeping*. Tesis de grado. California, USA: California Polytechnic State University: College of Liberal Arts.
- Simpson, R. (2009). *Manure Storage & Disposal Advice Note (007)*. Surrey Country Council : Horse Pasture Management Project.
- Universidad de Oviedo [UniOvi]. (S.f). *Propiedades físico-químicas del suelo y su relación con los movimientos del agua*. España: Facultad de Geología. Seminario de Edafología.
- Universidad Nacional de Colombia. [UNAL]. (2014). *Guía técnica para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de metodologías de Compostaje y Lombricultura*. Bogotá: Grupo de Investigación Sistemas Integrados de Producción Agrícola y Forestal (SIPAF)
- Vallejo, A.R. (2011). Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el cultivo de frijol(*Phaseolus vulgaris* L.) En un inceptisol con propiedades andicas en la Microcuenca Centella Dagua -Valle. Tesis de grado. *Universidad del Valle. Facultad de Ingenieria*. Valle del Cauca

Zhu, N. (2005). Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Bioresource Technology*, 97 .

8. Anexos

Anexo 1. Estrategia de disposición de los Residuos Sólidos Inorgánicos.

Para que clientes y administrativos dispusieran de los residuos sólidos inorgánicos se propusieron puntos ecológicos estratégicos para su posterior almacenamiento y venta, separando latas, PET, envolturas, tapas, papel y cartón, obteniendo un beneficio económico, minimizando impactos en el medio ambiente, relacionados a los residuos sólidos inorgánicos.



Puntos ecológicos para la disposición de residuos sólidos inorgánicos aprovechables.

Fuente Machuca & Muñoz, 2017

Anexo 2. Capacitación a personal CEG- residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.



Fuente Machuca & Muñoz, 2017



Fuente Machuca & Muñoz, 2017

Anexo 3. Prueba de Tukey para efecto de aplicación entre tratamientos vs altura del pasto.

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Altura del pasto en (cm)						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento1	Tratamiento2	-4,033*	1,138	,005	-7,19	-,88
	Tratamiento3	-8,617*	1,138	,000	-11,77	-5,46
	Tratamiento4	-9,825*	1,138	,000	-12,98	-6,67
	Tratamiento5	-1,908	1,138	,452	-5,06	1,25
Tratamiento2	Tratamiento1	4,033*	1,138	,005	,88	7,19
	Tratamiento3	-4,583*	1,138	,001	-7,74	-1,43
	Tratamiento4	-5,792*	1,138	,000	-8,95	-2,64
	Tratamiento5	2,125	1,138	,341	-1,03	5,28
Tratamiento3	Tratamiento1	8,617*	1,138	,000	5,46	11,77
	Tratamiento2	4,583*	1,138	,001	1,43	7,74
	Tratamiento4	-1,208	1,138	,826	-4,36	1,95
	Tratamiento5	6,708*	1,138	,000	3,55	9,86
Tratamiento4	Tratamiento1	9,825*	1,138	,000	6,67	12,98
	Tratamiento2	5,792*	1,138	,000	2,64	8,95
	Tratamiento3	1,208	1,138	,826	-1,95	4,36
	Tratamiento5	7,917*	1,138	,000	4,76	11,07
Tratamiento5	Tratamiento1	1,908	1,138	,452	-1,25	5,06
	Tratamiento2	-2,125	1,138	,341	-5,28	1,03
	Tratamiento3	-6,708*	1,138	,000	-9,86	-3,55
	Tratamiento4	-7,917*	1,138	,000	-11,07	-4,76
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.						

Fuente Machuca & Muñoz, 2018; a partir de información obtenida de IBM-SPSS Statistics.

Anexo 5. Certificado de Requisito para la operación de actividades de Cabalgata en turismo de Aventura

