



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 09/04/2018

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

YOHAN SEBASTIAN CALDERON CALDERON, con C.C. No **1.075.292.569**,

LUIS ENRIQUE PEREZ CASTRILLON, con C.C. No **1.075.284.399**,

Autor (es) de la tesis y/o trabajo de grado Titulado **Estimación de la madurez de un compost elaborado a partir de pulpa de café (*Coffea arabica* L), mediante la utilización de técnicas de tambor rotatorio** presentado y aprobado en el año **2018** como requisito para optar al título de

Ingeniero Agrícola;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: 1075292569

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: ESTIMACION DE LA ESTABILIDAD Y MADUREZ DE COMPOST ELABORADO A PARTIR DE PULPA DE CAFÉ (*coffea arábica L*), MEDIANTE LA UTILIZACION DE TECNICAS DE TAMBOR ROTATORIO

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
CALDERON CALDERON	YOHAN SEBASTIAN
PEREZ CASTRILLON	LUIS ENRIQUE

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
CASTRO CAMACHO	JENNIFER KATIUSCA

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
N/A	N/A

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: AGRICOLA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2018

NÚMERO DE PÁGINAS: 72

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general Grabados ___
Láminas ___ Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas
o Cuadros

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: **NINGUNO**

MATERIAL ANEXO: TABLAS DE DATOS Y REGISTRO FOTOGRAFICO

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Compost	compost	6. Tiempo	Time
2. maduración	maturation	7. _____	_____
3. materia orgánica	organic material	8. _____	_____
4. índice de germinación	germination index	9. _____	_____
5. tratamientos	treatments	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Este trabajo busca estimar la estabilidad y madurez de compost elaborado a partir de pulpa de café (*Coffea arabica L.*), mediante la utilización de técnicas de tambor rotatorio en procesos a pequeña escala validándolo como método efectivo para elaboración de un abono orgánico, cumpliendo con los parámetros de calidad establecidos por la FAO y los parámetros de la NTC-5167. La investigación se llevó a cabo en la Universidad Surcolombiana sede Neiva. La pulpa de café se obtuvo de una finca de San Agustín – Huila, la cual posee beneficio ecológico “ECOMIL 500”. Los tratamientos que se estudiaron fueron los siguientes: **T1:** Pulpa de café 100% (Tratamiento control), **T2:** Pulpa de café + Estiércol vacuno (proporción 1:1), **T3:** Pulpa de café + Estiércol vacuno (proporción 2:1), **T4:** Pulpa de café + Mucílago (Tratamiento control), **T5:** (Pulpa de café + Mucílago) + Estiércol vacuno (proporción 1:1), **T6:** (Pulpa de café + Mucílago) + Estiércol vacuno (proporción 2:1). El muestreo se realizó conforme al protocolo del laboratorio INIA, 2015. Los parámetros de temperatura, humedad, sólidos totales, materia orgánica, pH, densidad real, densidad aparente, porosidad, estimación de CO₂, carbono orgánico e índice de germinación se midieron cada nueve días. Para el análisis estadístico de los datos, se realizó un análisis de varianza ANOVA multifactorial. Se logró estimar la madurez para cada uno de los tratamientos en un periodo de 54 días para los tratamientos T2, T3 y T5; y un periodo 63 días para los tratamientos T1, T4 y T6.



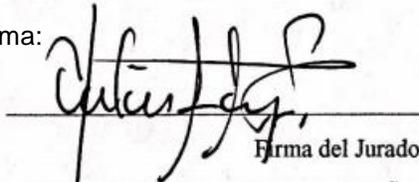
ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

This work seeks to estimate the stability and maturity of compost elaborated from coffee pulp (*Coffea arabica* L), by using rotary drum techniques in small scale processes validating it as an effective method for elaborating an organic fertilizer, complying with the quality parameters established by FAO and the parameters of NTC-5167. The research was carried out at the Universidad Surcolombiana, headquarters of Neiva. The coffee pulp was obtained from a farm in San Agustín - Huila, which has an ecological benefit of "ECOMIL 500". The treatments that were studied were the following: T1: Coffee pulp 100% (Control treatment), T2: Coffee pulp + Cow dung (ratio 1: 1), T3: Coffee pulp + Cattle manure (ratio 2: 1) , T4: Coffee pulp + Mucilage (Control treatment), T5: (Coffee pulp + Mucilage) + Cattle manure (ratio 1: 1), T6: (Coffee pulp + Mucilage) + Cattle manure (ratio 2: 1) . The sampling was carried out according to the protocol of the INIA laboratory, 2015. The parameters of temperature, humidity, total solids, organic matter, pH, real density, apparent density, porosity, CO₂ estimation, organic carbon and germination index were measured every nine days. For the statistical analysis of the data, a multivariate ANOVA variance analysis was performed. It was possible to estimate the maturity for each of the treatments in a period of 54 days for the treatments T2, T3 and T5; and a period of 63 days for the treatments T1, T4 and T6.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: **NESTOR ENRIQUE CERQUERA PEÑA**

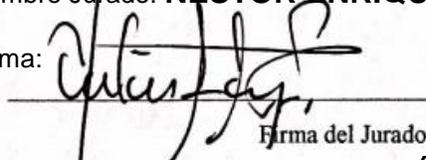
Firma:



Firma del Jurado

Nombre Jurado: **NESTOR ENRIQUE CERQUERA PEÑA MSc.**

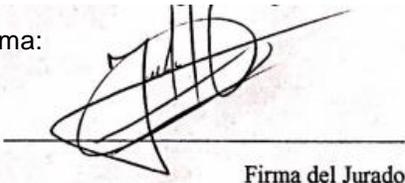
Firma:



Firma del Jurado

Nombre Jurado: **JOHN JAIRO ARÉVALO HERNÁNDEZ MSc.**

Firma:



Firma del Jurado

ESTIMACIÓN DE LA ESTABILIDAD Y MADUREZ DE COMPOST ELABORADO A PARTIR DE PULPA DE CAFÉ (*Coffea arabica l*), MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS DE TAMBOR ROTATORIO.

LUIS ENRIQUE PEREZ CASTRILLON
YOHAN SEBASTIAN CALDERON CALDERON

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA
2017

ESTIMACIÓN DE LA ESTABILIDAD Y MADUREZ DE COMPOST ELABORADO A PARTIR DE PULPA DE CAFÉ (*Coffea arabica l*), MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS DE TAMBOR ROTATORIO.

LUIS ENRIQUE PEREZ CASTRILLON
YOHAN SEBASTIAN CALDERON CALDERON

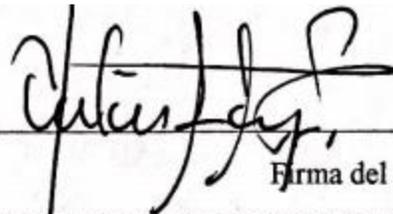
Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Agrícola

Director:
JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO
Ingeniera Agrícola. MSc.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA
2017

Nota de aceptación:

ESTE TRABAJO ESTA REVISADO Y
APROBADO POR PARTE DEL
RESPECTIVO DIRECTOR Y
JURADOS. COMO CONSTANCIA DE
ESTO FIRMAMOS A
CONTINUACIÓN.



Firma del Jurado

NESTOR ENRIQUE CERQUERA PEÑA

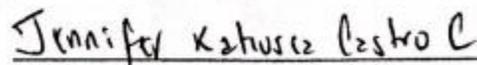
Ingeniero Agrícola. MSc.



Firma del Jurado

JOHN JAIRO ARÉVALO HERNÁNDEZ

Ingeniero Agrícola. MSc.



Firma del Director

JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO

Ingeniero Agrícola. MSc.

DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo queremos dedicar a nuestros padres Luis Enrique Pérez Lozada, Yineth Castrillón Peña, Silvio Augusto Calderón Vargas y Luz Mary Calderón Romero por su arduo esfuerzo e incondicional apoyo en nuestro proceso de formación como profesionales.

Luis Enrique Pérez Castrillón y Yohan Sebastian Calderón Calderón

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo quieren expresar sus más sinceros agradecimientos a:

JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO Ingeniera Agrícola MSc. Docente de la de la Universidad Surcolombiana de Neiva, por su incondicional dirección y confianza de este trabajo de investigación, de igual manera por el conocimiento aportado en la elaboración de compost en tambor rotatorio.

NESTOR ENRIQUE CERQUERA Ingeniero Agrícola MSc. Docente de la Universidad Surcolombiana de Neiva, coordinador del Laboratorio De Manejo y Conservación De Productos Agropecuarios, por depositar su confianza y permitir el fácil acceso al laboratorio para el libre desarrollo de algunas pruebas realizadas al compost.

JOHN JAIRO ARÉVALO HERNÁNDEZ Ingeniero Agrícola MSc. Docente de la Universidad Surcolombiana de Neiva, coordinador del Laboratorio de Recursos Geoagroambientales, por permitirnos realizar algunas pruebas físicas durante el proceso de compostaje en dichas instalaciones.

RONALD CAMILO SALAZAR Ingeniero Agrícola. Docente de la Universidad De Santa Rosa De Cabal, por brindar sus conocimientos en la buena redacción de un trabajo de grado, permitiendo aprender a estructurar textos para facilitar el entendimiento de cualquier lector.

CRISTIAN ROONEY REYES MORALES Ingeniero Agrícola. Por permitirnos aprender de su ardua experiencia en la ciencia del suelo y entender los procesos que en el suceden, para poder asimilarlos con el comportamiento de un compost.

EFREN MOSQUERA VILLAREAL Licenciado en Educación. Coordinador del Laboratorio De Construcciones Rurales, por el préstamo de algunos materiales y equipos para la ejecución de este proyecto de grado.

A nuestros amigos y conocidos por brindarnos el apoyo psicológico y moral en los momentos que lo necesitamos, y a todas aquellas personas que directa o indirectamente nos colaboraron para la ejecución de este proyecto de grado.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. MARCO TEORICO.....	14
3. METODOLOGÍA	19
2.1. LOCALIZACIÓN	19
2.2. COMPOSTERAS (TAMBORES ROTATORIOS).....	19
2.3. MATERIA PRIMA.....	20
2.3.1. Información de la finca de la que se obtuvo la pulpa de café:	20
2.4. TRATAMIENTOS DE ESTUDIO	20
2.5. MUESTREO	22
2.6. EVOLUCIÓN DEL COMPOST	22
2.6.1. Temperatura interna (Ti) (°C):	22
2.6.2. Contenido de Humedad (H) (%):	22
2.6.3. Sólidos totales (ST) (%):	23
2.6.4. Materia Orgánica (MO) (%):.....	23
2.6.5. pH:.....	23
2.6.6. Densidad real (Dr) (gr · cm ⁻³):.....	23
2.6.7. Densidad aparente (Da) (gr/cm ³):.....	24
2.6.8. Porosidad (P) (%):.....	24
2.7. ESTABILIDAD DEL COMPOST.....	24
2.7.1. Estimación de CO ₂ :	25
2.7.2. Carbono orgánico total (CO) (µgCO ₂ ·g ⁻¹).	25
2.8. Madurez del compost.	25
2.9. Tratamiento Estadístico de los datos	26
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	27
3.1. EVOLUCIÓN DEL COMPOST.....	27
3.1.1. Temperatura interna y Temperatura Superficial.....	27
3.1.2. Contenido de Humedad.	32
3.1.3. Sólidos Totales.	35
3.1.4. Materia Orgánica.....	37
3.1.5. pH.....	40

3.1.6.	Densidad Real.....	43
3.1.7.	Densidad Aparente.....	45
3.1.8.	Porosidad.....	47
3.2.	ESTABILIDAD DEL COMPOST.....	49
3.2.1.	Estimación de CO ₂ : Incubación-Titulación.....	49
3.2.2.	Carbono Orgánico Total (µgCO ₂ ·g ⁻¹).....	50
3.2.3.	Índice de Germinación.....	52
3.2.4.	Granulometría.....	55
3.3.	CALIDAD DEL COMPOST OBTENIDO.....	56
4.	CONCLUSIONES.....	58
5.	RECOMENDACIONES.....	59
6.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	60
	ANEXOS.....	64
1.	Tabla de datos.....	64
2.	Registro Fotográfico.....	71

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fases del compost.....	17
Figura 2. Descripción de la metodología empleada.....	19
Figura 3. Tambor rotativo en detalle.....	20
Figura 4. Comportamiento de la temperatura interna vs tiempo.....	27
Figura 5. Medias estimadas por mínimos cuadrados para la temperatura Interna (95% de Tukey HSD).....	29
Figura 6. Comportamiento de la temperatura superficial vs tiempo.....	30
Figura 7. Medias estimadas por mínimos cuadrados para la temperatura superficial (95% de Tukey HSD).....	32
Figura 8. Comportamiento del contenido de humedad vs tiempo.....	33
Figura 9. Medias estimadas por mínimos cuadrados para el contenido de humedad (95% Tukey HSD).....	34
Figura 10. Comportamiento de los sólidos totales vs tiempo.....	35
Figura 11. Medias estimadas por mínimos cuadrados para el contenido de sólidos totales (95% de Tukey HSD).....	37
Figura 12. Comportamiento de la materia orgánica vs tiempo.....	38
Figura 13. Medias estimadas por mínimos cuadrados para el contenido de materia orgánica (95% de Tukey HSD).....	40
Figura 14. Comportamiento del pH vs tiempo.....	41
Figura 15. Medias estimadas por mínimos cuadrados para el pH (95% de Tukey HSD).....	43
Figura 16. Comportamiento de la densidad real vs tiempo.....	44
Figura 17. Medias estimadas por mínimos cuadrados para la densidad real (95% de Tukey HSD).....	45
Figura 18. Comportamiento de la densidad aparente vs tiempo.....	46
Figura 19. Medias estimadas por mínimos cuadrados para la densidad aparente (95% de Tukey HSD).....	47
Figura 20. Comportamiento de la porosidad vs tiempo.....	48
Figura 21. Medias estimadas por mínimos cuadrados para la porosidad (95% de Tukey HSD).....	49
Figura 22. Comportamiento del contenido de carbono orgánico vs tiempo.....	50
Figura 23. Medias estimadas por mínimos cuadrados para el contenido de carbono orgánico (95% de Tukey HSD).....	52
Figura 24. Comportamiento del índice de germinación vs tiempo.....	53
Figura 25. Grafica de medias estimada por mínimos cuadrados para el índice de germinación (95% de Tukey HSD).....	55
Figura 26. Granulometría de los compost obtenidos.....	56

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Componentes de pulpa descompuesta de café y transformada en compost (Datos para 100 kg de pulpa descompuesta).	15
Tabla 2. Componentes de la pulpa fresca de café.	16
Tabla 3. Rangos ideales para la maduración de un compost.	16
Tabla 4. Análisis de varianza para la temperatura interna- Suma de cuadrados tipo III.	28
Tabla 5. Pruebas de rangos múltiples para la temperatura interna por tratamiento.....	29
Tabla 6. Análisis de varianza para la temperatura superficial- Suma de cuadrados tipo III.	31
Tabla 7. Pruebas de rangos múltiples para la temperatura superficial por tratamiento.....	31
Tabla 8. Análisis de varianza del contenido de humedad- Suma de cuadrados tipo III.	33
Tabla 9. Pruebas de rangos múltiples para el contenido de humedad por tratamientos.	34
Tabla 10. Análisis de varianza del contenido de sólidos totales- Suma de cuadrados tipo III.	36
Tabla 11. Pruebas de rangos múltiples para el contenido de sólidos totales por tratamientos.	36
Tabla 12. Análisis de varianza del contenido de materia orgánica - Suma de cuadrados tipo III. ...	39
Tabla 13. Pruebas de rangos múltiples para el contenido de materia orgánica por tratamientos.	39
Tabla 14. Análisis de varianza del pH - Suma de cuadrados tipo III.	42
Tabla 15. Pruebas de rangos múltiples para el pH por tratamiento.....	42
Tabla 16. Análisis de varianza para densidad real - Suma de cuadrados tipo III.	44
Tabla 17. Análisis de varianza para la densidad aparente - Suma de cuadrados tipo III.....	46
Tabla 18. Análisis de varianza para la porosidad- Suma de cuadrados tipo III.	48
Tabla 19. Análisis de varianza para el carbono orgánico - Suma de cuadrados tipo III.	51
Tabla 20. Pruebas de rangos múltiples para el carbono orgánico por tratamiento.	52
Tabla 21. Análisis de varianza para el índice de germinación - Suma de cuadrados tipo III.....	54
Tabla 22. Parámetros finales de cada compost.....	57

RESUMEN

El beneficio húmedo del café es una de las actividades más realizadas del sector cafetero en Colombia, su inadecuado manejo de subproductos, especialmente de la pulpa de café, han generado problemas ambientales relacionados con la contaminación de fuentes hídricas, deterioro de paisajes, proliferación de plagas y emanación de malos olores por acumulación de sus residuos sólidos. Con el fin de mitigar la contaminación y aprovechar los subproductos como fuente nutricional para el suelo, se presenta este trabajo cuyo objetivo busca estimar la estabilidad y madurez de compost elaborado a partir de pulpa de café (*Coffea arabica L*), mediante la utilización de técnicas de tambor rotatorio en procesos a pequeña escala validándolo como método efectivo para elaboración de un abono orgánico, cumpliendo con los parámetros de calidad establecidos en el “Manual de compostaje del agricultor” propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y los parámetros de la Norma Técnica Colombiana NTC-5167. La investigación se llevó a cabo en la Universidad Surcolombiana sede Neiva. La pulpa de café se obtuvo de una finca de San Agustín – Huila, la cual posee beneficio ecológico “ECOMIL 500”. Los tratamientos que se estudiaron fueron los siguientes: **T1**: Pulpa de café 100% (Tratamiento control), **T2**: Pulpa de café + Estiércol vacuno (proporción 1:1), **T3**: Pulpa de café + Estiércol vacuno (proporción 2:1), **T4**: Pulpa de café + Mucílago (Tratamiento control), **T5**: (Pulpa de café + Mucílago) + Estiércol vacuno (proporción 1:1), **T6**: (Pulpa de café + Mucílago) + Estiércol vacuno (proporción 2:1). El muestreo se realizó conforme al protocolo del laboratorio INIA, 2015. Los parámetros de temperatura, humedad, sólidos totales, materia orgánica, pH, densidad real, densidad aparente, porosidad, estimación de CO₂, carbono orgánico e índice de germinación se midieron cada nueve días para llevar a cabo el seguimiento a la evolución del compost hasta la obtención del producto final. Para el análisis estadístico de los datos, se realizó un análisis de varianza ANOVA multifactorial usando el programa estadístico STATGRAPHICS con el que fue posible identificar diferencias estadísticamente significativas entre las variables evaluadas. Se logró estimar la madurez para cada uno de los tratamientos en un periodo de 54 días para los tratamientos T2, T3 y T5; y un periodo 63 días para los tratamientos T1, T4 y T6. Al alcanzar la madurez en todos los tratamientos se observó que aquellos que cumplen con los parámetros de calidad establecidos en el “Manual de compostaje del agricultor” propuesto por la FAO y los de la Norma Técnica Colombiana NTC-5167 fueron la temperatura, los sólidos totales, la materia orgánica, el pH, la densidad real y aparente, la porosidad, la estimación de CO₂, el carbono orgánico y el Índice de germinación por otro lado la humedad en los tratamientos T1, T4 y T5 se encuentran fuera de los rangos permitidos.

ABSTRACT

The benefit of coffee is one of the most productive activities of the coffee sector in Colombia, and its management of by-products, especially coffee, has generated problems with water pollution, deterioration of landscapes, proliferation of pests and emanation of bad odors due to the accumulation of solid waste. In order to mitigate the contamination and take advantage of by-products as a nutritional source for the soil, the objective is to look for the estimation and maturity of the compost made from coffee (*Coffea arabica* L), by using rotary drum techniques in small-scale processes, validating it as an effective method for preparing an organic fertilizer, complying with the quality parameters established in the "Farmer's Composting Manual" proposed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the parameters of the Colombian Technical Norm NTC-5167. The research was carried out at the Universidad Surcolombiana, headquarters of Neiva. The coffee pulp was obtained from a farm in San Agustín - Huila, which has ecological benefits "ECOMIL 500". The treatments that were studied were the following: T1: Coffee pulp 100% (Treatment control), T2: Coffee pulp + Cattle manure (ratio 1: 1), T3: Coffee pulp + Cattle manure (ratio 2:1), T4: Coffee pulp + Mucilage (Treatment control), T5: (Coffee pulp + Mucilage) + Cattle manure (ratio 1:1), T6: (Coffee pulp + Mucilage) + Cattle manure (ratio 2:1). Sampling was done to the laboratory protocol INIA, 2015. The parameters of temperature, humidity, total solids, organic matter, pH, real density, bulk density, porosity, CO₂ estimation, organic carbon and germination index were measured every nine days. to carry out the follow-up of the evolution of the compost until obtaining the final product. For the statistical analysis of the data, a multivariate analysis of variance ANOVA was performed using the statistical program ESTADGRAPHICS with which statistical differences can be identified statistically among the variables evaluated. It was possible to estimate the maturity for each of the treatments in a period of 54 days for treatments T2, T3 and T5; and a period of 63 days for treatments T1, T4 and T6. When reaching maturity in all treatments, it is required that the quality parameters established in the "Manual of composting of the farmer" be by FAO and those of the Standard Colombian Technique NTC-5167 were the temperature, the total solids, the organic matter, the pH, the real and apparent density, the porosity, the CO₂ estimation, the organic carbon and the germination index on the other hand the humidity treatments T1, T4 and T5 are outside the permitted ranges.

1. INTRODUCCIÓN

La agroindustria del café ocupa un lugar sobresaliente en la economía colombiana. El proceso de beneficio genera cantidades considerables de subproductos como la pulpa, el mucílago, las aguas de lavado y el cisco de café. Montero (1992) afirma que la pulpa de café es el principal residuo del beneficio húmedo del café cereza, el cual constituye el 41% del peso húmedo del grano. Así mismo, la Fundación para el Desarrollo Socio Económico y Restauración Ambiental- FUNDDesyRAM (2014) afirma que el uso de la pulpa de café como abono orgánico para acondicionar el suelo mejora su contenido de humus y estructura, estimulando la vida micro y mesobiológica del suelo. Del café uva solo el 18.5% es café oro, el resto del fruto es agua (20%), pulpa (41%), cascarilla (4.5%), mucilago (16%), la pulpa de café en desperdicio genera el 60% de la contaminación del agua en las zonas cafeteras (FUNDDesyRAM, 2014).

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura- UNESCO (2015), define que “El agua dulce es el recurso más importante para la humanidad, es un bien transversal a todas las actividades sociales, económicas y ambientales”. Es una condición para toda la vida en el planeta, un factor propicio o limitante para cualquier desarrollo social y tecnológico, además de una posible fuente de bienestar o miseria, cooperación o conflicto.

La pulpa de café es un residuo que genera gran contaminación sobre las aguas superficiales y los suelos, a pesar de las múltiples investigaciones realizadas por diferentes entidades como el Centro Nacional de Investigaciones de Café- CENICAFÉ, que ha generado nuevas tecnologías permitiendo a los caficultores de diferentes zonas del país hacer uso de ellas, no se ha logrado contrarrestar los efectos negativos de este residuo contaminante. Para los pequeños caficultores con menos de 5 hectáreas de café, la pulpa sigue siendo un problema ya que no cuentan con los suficientes recursos económicos y el conocimiento de las nuevas tecnologías que permitan contrarrestarla (Moreno & Romero, 2016). La pulpa contiene materia orgánica y nutrientes, con una mayor concentración de P, Ca y K que el propio café, además de contener Mg, S, Fe y B (FUNDDesyRAM, 2014).

El proceso del café por vía húmeda produce tres clases de subproductos, la pulpa el mucílago y las aguas residuales. La pulpa separada del fruto representa el 73,7% de la contaminación potencial en un proceso de beneficio tradicional, y el mucílago que queda sobre el fruto representa el 26,3% (Moreno & Romero, 2016).

La FAO (2013) hizo una estimación a nivel mundial de 33 toneladas métricas de subproductos de café, de las cuales el 67% corresponden a la pulpa. Rodríguez (2000) en su estudio de manejo de los residuos en la agroindustria Cafetera, dice que en Colombia la producción anual de pulpa de café es de aproximadamente 2 millones de toneladas. La inadecuada disposición de las grandes cantidades de este material, genera problemas ambientales relacionados con la contaminación de cuerpos de agua, deterioro del paisaje, proliferación de plagas y emanación de malos olores por acumulación de residuos sólidos.

La pulpa de café es un material de especial importancia en las fincas cafeteras por ser fuente de materia orgánica, mejorar las condiciones físicas y químicas de los suelos con texturas

pesadas y arenosas e incrementar el contenido de la mayoría de nutrientes esenciales para la planta de café (Asociación Nacional del café- ANACAFE, 2015). Allí se utiliza como fertilizante, específicamente como abono orgánico, promoviendo su descomposición natural, para ser utilizada nuevamente en sus propios cultivos (Aranda, 1991). En este sentido, se han realizado investigaciones para caracterizar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de suelos en los que se aplicó pulpa directamente a la planta (Girón, 2015) los resultados mostraron que aplicándola sola al ahoyado y/o superficialmente, o en combinación con químico en la superficie del suelo, se logra evitar problemas de contaminación del ambiente y se reducen los elementos que causan la acidez del suelo (Al, Fe, Mn) estabilizando el pH.

El compostaje es una alternativa en la producción de los cafetales, para lo cual el uso de la pulpa constituye una alternativa viable, en los últimos tiempos, el compostaje se ha convertido en una de las opciones para el procesamiento de los residuos sólidos orgánicos, tanto urbanos como agrícolas. La pulpa del café posee características idóneas para el proceso de compostaje, ya que contiene un alto contenido de azúcares (fuente energética), una buena relación carbono: nitrógeno (25 – 30:1) y un tamaño de partícula adecuado, por lo que el compostaje se ha difundido como una alternativa de manejo de este desecho (Torres, 2012).

En este trabajo de investigación se estimó la estabilidad y madurez del compost elaborado a partir de pulpa de café (*Coffea arabica L*), mediante la utilización de técnicas de tambor rotatorio en procesos a pequeña escala. Además se pretende validar el uso de tambor rotatorio como método efectivo para elaboración de un abono orgánico que cumpla con los parámetros de calidad establecidos en el “Manual de compostaje del agricultor” propuesto por la FAO y la Norma Técnica Colombiana NTC-5167. Teniendo en cuenta que el método del tambor rotatorio es práctico y de fácil montaje.

2. MARCO TEORICO

En el proceso del café se estima que menos del 5% de la materia vegetal generada se aprovecha en la elaboración de la bebida, el resto queda en forma residual, representado en materiales fibrosos como hojas, ramas y tallos, generados en el proceso de renovación de los cafetales; frutos verdes que se caen durante la recolección o que se retiran de la masa de café recolectado; pulpa y mucílago producidos en el proceso de beneficio del fruto; la cascarilla generada en la etapa de trilla, y la borra o ripio que se genera en las fábricas de producción de café soluble y cuando se prepara la bebida a partir del grano tostado y molido (Rodríguez, Zambrano & Ramírez, 2013).

El fruto maduro del café cereza, una vez cosechado, es un material perecedero, por lo que debe ser transformado rápidamente a café pergamino seco, con humedad en el rango del 10% al 12% en base húmeda, para preservar su calidad intrínseca (CENICAFÉ, 2015). El proceso utilizado para transformarlo se denomina beneficio húmedo, porque se utiliza agua para el lavado de la semilla. Se da el nombre de beneficiadero al establecimiento en el cual se realizan las operaciones y procesos destinados a transformar el café cereza en café pergamino seco.

Uno de los beneficios de café frente a la eficiencia y ahorro de agua son:

Beneficio convencional del café: Con este nombre se conoce al proceso que tradicionalmente se ha utilizado en Colombia para transformar el fruto en semilla, donde se utiliza agua para el despulpado, lavado y transporte (del fruto, del café despulpado y del café lavado), con un consumo global cercano a los 40 litros de agua por cada kilogramo de beneficio de café pergamino seco (cps) y en el cual no se realiza manejo a los subproductos obtenidos (Roa, Oliveros & Álvarez, 1999).

Beneficio ecológico del café: Es un proceso de beneficio de café amigable con el ambiente, que permite obtener cafés con la calidad física y de taza característicos del café de Colombia. Se define como “El conjunto de operaciones realizadas para transformar el café cereza en café pergamino seco, conservando la calidad exigida por las normas de comercialización, evitando pérdidas del producto y eliminando procesos innecesarios, lográndose además el aprovechamiento de los subproductos, lo cual representa el mayor ingreso económico para el caficultor y la mínima alteración del agua estrictamente necesaria en el beneficio (Roa et al., 1999).

Beneficio Ecológico del café sin vertimiento: Es aquel beneficio en el cual se hace un uso racional del agua y se tratan los subproductos como pulpa, mucílago y aguas residuales, de forma que no se generen vertimientos en el proceso (Roa et al., 1999).

Fertilización Orgánica del café: La base principal de la fertilización orgánica es la adición de abonos orgánicos y tiene la finalidad de restituir al suelo los nutrientes que las plantas utilizan para su desarrollo y producción.

Los abonos orgánicos influyen en las características físicas, químicas y biológicas del suelo que son mencionadas a continuación por Anacafé (2013)

Físicas

- Mejoran la retención de humedad.
- Disminuyen los efectos de la erosión.
- Mejoran la infiltración del agua y la aireación con el suelo.
- Brindan mayor porosidad a los suelos compactos.

Químicas

- Aportan nutrientes en forma natural.
- Hacen asimilables muchos minerales para la planta.
- Ayudan a corregir las condiciones tóxicas del suelo.
- Contribuyen a retener los nutrientes.
- Retardan el proceso de cambio de reacción (pH).

Biológicas

- Incrementan los macro y microorganismos.

A continuación se observan las **Tablas 1 y 2** que relaciona el peso de cada componente de la pulpa de café cereza y en transformación.

Tabla 1. Componentes de pulpa descompuesta de café y transformada en compost (Datos para 100 kg de pulpa descompuesta).

COMPONENTES	PESO (kg)
Nitrógeno	0.5
Fósforo	0.1
Potasio	1.0
Calcio	1.7
Fierro	1.0
Magnesio	0.5
Mn, Cu y Zn	(trazas)

Fuente: Torres (2012)

En el Salvador, Suárez (1960) indica que 100 libras de pulpa de café seca equivalen, con base a su composición química, a 10 libras de fertilizante inorgánico de N-P-K en las proporciones de 14-3-37; aquí queda reflejada la alta cantidad de potasio que contiene este sub producto para ser utilizado como abono, especialmente en aquellos cultivos que manifiestan necesidades elevadas de este elemento, como las musáceas (banano, plátano, guineo).

Tabla 2. Componentes de la pulpa fresca de café.

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Agua	80
Nitrógeno	0.31
Fósforo	0.0002
Potasio	0.62
Ca, Mg, S, Fe, Mn, B	(trazas)

Fuente: Torres (2012)

Varios experimentos han identificado que la pulpa de café es un fertilizante orgánico de mucho valor, particularmente para el cafeto; el problema para su uso efectivo reside en el manejo, ya que el contenido de humedad es muy alto (Bressani, 1976).

El compost debe cumplir con rangos ideales en su proceso de maduración, estos rangos se proponen para los siguientes parámetros: Humedad, pH, densidad, materia orgánica, temperatura, entre otros. Ver **Tabla 3**.

Tabla 3. Rangos ideales para la maduración de un compost.

PARAMETRO	RANGO IDEAL AL COMIENZO (2-5 DIAS)	RANGO IDEAL PARA COMPOST EN FASE TERMOFILIA II (2-5 SEMANAS)	RANGO IDEAL DE COMPOST MADURO (3-6 MESES)
C:N	25:1 - 35:1	15/20	10:1 - 15:1
Humedad	50% - 60%	45% -55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~ 10%	~ 10%	~ 10%
Tamaño de partícula	<25cm	~ 15cm	<1,6cm
pH	6,5 - 8,0	6,0 - 8,5	6,5 - 8,0
Temperatura	45 - 60°C	45°C- Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250 - 400Kg/m ³	<700Kg/m ³	<700Kg/m ³
Materia orgánica (Base seca)	50% - 70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5 - 3%	1 - 2%	~ 1%

Fuente: FAO (2013).

En la materia orgánica ocurren varios procesos químicos y biológicos, entre los que se destaca la mineralización a través de la respiración durante un tiempo determinado. Teniendo en cuenta que en la materia orgánica el mayor contenido de su peso es el carbono, la proporción de C-CO₂ producido por la respiración microbiana en función al carbono total de la materia orgánica corresponde al índice de mineralización. El compostaje es un proceso biológico de degradación aeróbica de la materia orgánica. Es llevado a cabo por

microorganismos cuyo crecimiento y desarrollo está regulado por un conjunto interrelacionado de factores tales como temperatura ambiente, tipo de materiales a compostar, tamaño de partículas, humedad, entre otros. Los abonos orgánicos son materiales cuya eficacia para mejorar la fertilidad y la productividad de los suelos ha sido demostrada (FAO, 2013).

Para alcanzar la estabilidad y madurez, el compost debe pasar por diferentes fases, que dependen del tiempo y temperatura alcanzada en el proceso de compostaje. Estas fases son: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración (FUNDESYRAM, 2014). El comportamiento de cada una de estas fases se observa en la **Figura 1**.

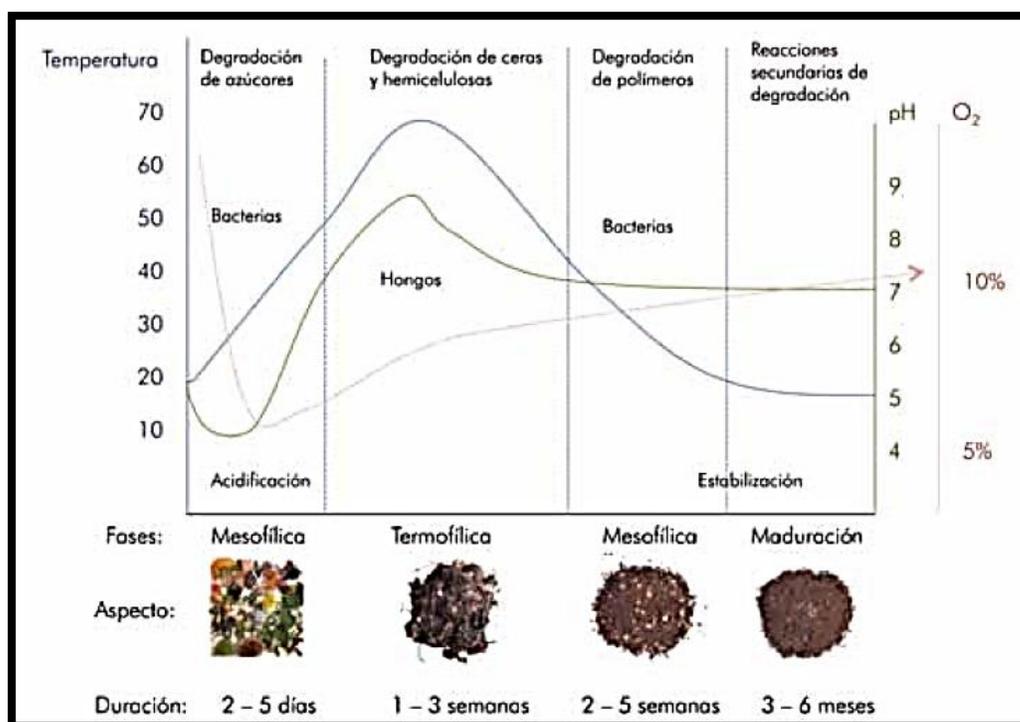


Figura 1. Fases del compost.

Fuente: FAO (2013)

En la actualidad, existen diversos métodos o sistemas de compostaje, desde muy pequeños y sencillos hasta sistemas tecnológicamente muy complejos y automatizados que permiten el tratamiento de un gran volumen de residuos. En general, el diseño y las características de los sistemas de compostaje dependen de factores como: el tiempo del proceso, el espacio requerido, el gasto energético o la seguridad higiénica de la planta de tratamiento, entre otros (Tortosa, 2015).

Se creó un sistema hecho en tambor rotatorio, denominado *Rotary drum composting*, para llevar a cabo el proceso de compostaje, el cual ha sido muy usado tanto a pequeña como a gran escala. La importancia de estos sistemas radica en que se logra cierta reducción en el tiempo del proceso mediante una adecuada aireación y homogenización (Tortosa, 2015). El proceso de compost en tambor rotatorio o compostera rotatoria facilita la manipulación del

compost por parte de quien esté realizando el trabajo. Estos prototipos ofrecen las ventajas de hacer una mejor distribución de la humedad del material, buena aireación y garantiza un producto final homogéneo (FAO, 2013). Para su homogenización se requiere únicamente hacer girar el tambor. Este tipo de compostera podrá ser utilizada a pequeña, mediana y grande escala dependiendo las necesidades del agricultor.

3. METODOLOGÍA

A continuación en la **Figura 2**, se describe el proceso que se llevó a cabo para la obtención de compost a través de diferentes tratamientos y el proceso que se realizó para la elaboración e instalación de composteras de tambor rotativo. Además se describe el proceso realizado para identificar la evolución, la estabilidad y la madurez del compost de los diferentes tratamientos.

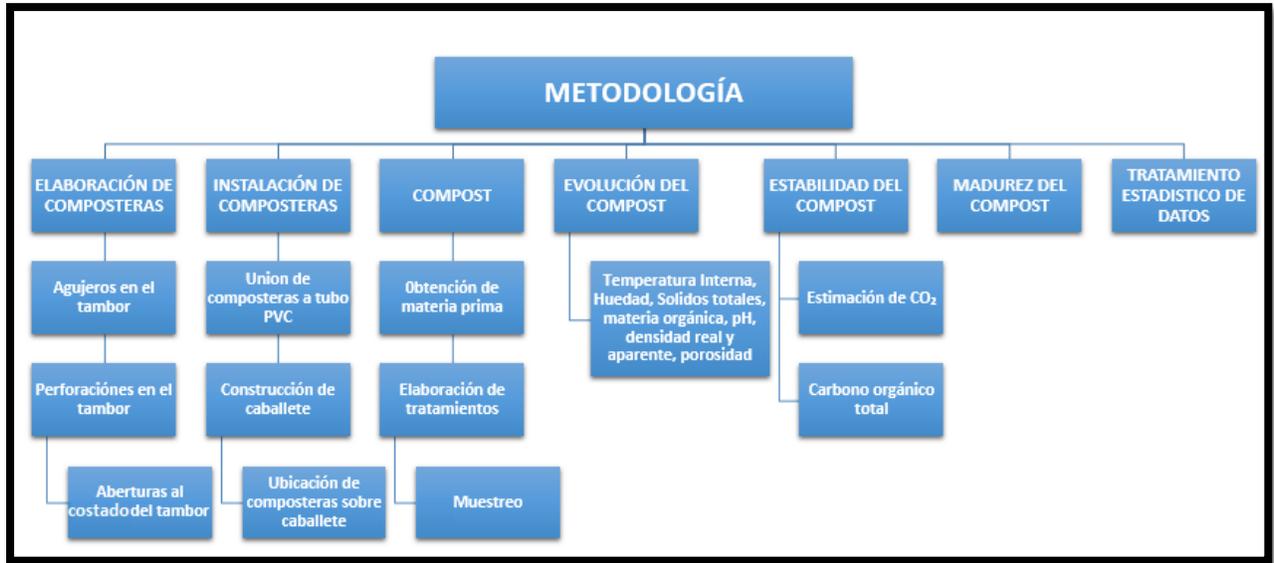


Figura 2. Descripción de la metodología empleada.

2.1. LOCALIZACIÓN

La investigación se llevó a cabo en la Universidad Surcolombiana sede Neiva, en un lote específico se instaló las composteras. Se realizó los análisis en los laboratorios de Control de calidad y Suelos de la Universidad Surcolombiana.

2.2. COMPOSTERAS (TAMBORES ROTATORIOS)

Cada prototipo está conformado por un tambor plástico con capacidad para 55 galones, un tubo de PVC de 1.25 metros de largo y dos pulgadas de diámetro.

Procedimiento para la construcción:

- 1) Se agujeró el centro de la parte superior y el fondo del tambor, lo suficientemente grandes para que entrara el tubo de PVC que se usó como eje y manivela.
- 2) Se realizó perforaciones en el cuerpo del tambor con una sierra copa de taladro de 1 pulgada, para la ventilación de compost.
- 3) Se hizo una abertura en el costado y se agregó bisagras simples con un pasador para crear una puerta con la pieza cortada del costado del tambor.
- 4) Se introdujo el tubo de PVC en las perforaciones centradas del tambor.

- 5) Se construyó un caballete de madera para sostener el tambor de compostaje.
- 6) Se colocó el barril con el tubo sobre el caballete.
- 7) En la **figura 3** se muestra el prototipo terminado y listo para depositar los insumos a compostar.



Figura 3. Tambor rotativo en detalle.

Para adecuar las composteras le fueron realizadas perforaciones circulares a los extremos de los tambores por todo el perímetro para asegurar su ventilación, junto con su puerta.

2.3. MATERIA PRIMA

- La pulpa de café se obtuvo de una finca de San Agustín – Huila, el cual realiza beneficio ecológico “ECOMIL 500”. El llenado de cada compostera se realizó el mismo día en que se hizo el despulpado del café.

2.3.1. Información de la finca de la que se obtuvo la pulpa de café:

Nombre de la finca: Finca El Alcázar

Localización: Municipio de San Agustín, vereda Las Eras

Altura: 1750m.s.n.m

Temperatura promedio 20°C

Propietario: Manuel Agustín Calderón Romero

- El estiércol vacuno se obtuvo de la Hacienda Panorama ubicada sobre la vía Neiva–Rivera.
- La cascara de banano se obtuvo de una heladería en la ciudad de Neiva.

2.4. TRATAMIENTOS DE ESTUDIO

Los tratamientos que se realizaron en esta investigación fueron los siguientes:

- Tratamiento 1 (T1): Pulpa de café sin mucilago (Tratamiento testigo)
- Tratamiento 2 (T2): Pulpa de café sin mucilago+ estiércol vacuno (Proporción 1:1)
- Tratamiento 3 (T3): Pulpa de café sin mucilago+ estiércol vacuno (Proporción 2:1)
- Tratamiento 4 (T4): Pulpa de café con mucilago (Tratamiento testigo)
- Tratamiento 5 (T5): Pulpa de café con mucilago+ estiércol vacuno (Proporción 1:1)
- Tratamiento 6 (T6): Pulpa de café con mucilago+ estiércol vacuno (Proporción 2:1)

Una vez se conoció el peso de los componentes principales que conformaron cada tratamiento (Pulpa de café sin mucilago, Pulpa de café con mucilago y estiércol vacuno), se procedió a adicionar en cada tratamiento el 10% de dicho peso de cisco de café, 10% de cáscara de banano, 0.5% de úrea y 0.8% de cal dolomita. Estos materiales fueron adicionados debido a que son subproductos e insumos presentados comúnmente en fincas cafetaleras (Pierre, Rosell, Quiroz & Granda, 2009).

Cantidades utilizadas de cada componente en cada tratamiento:

Tratamiento 1:

Pulpa de café sin mucilago: **17.263 kg**
Cisco de café: **1.726 kg**
Cascara de banano: **1.726 kg**
Urea: **0.086 kg**
Cal dolomita: **0.138 kg**

Tratamiento 2:

Pulpa de café sin mucilago: **7.906 kg**
Estiércol Vacuno: **7.906 kg**
Cisco de café: **1.581 kg**
Cascara de banano: **1.581 kg**
Urea: **0.0790 kg**
Cal dolomita: **0.126 kg**

Tratamiento 3:

Pulpa de café: **9.781 kg**
Estiércol Vacuno: **4.889 kg**
Cisco de café: **1.466 kg**
Cascara de banano: **1.466 kg**
Urea: **0.073 kg**
Cal dolomita: **0.117 kg**

Tratamiento 4:

Pulpa de café con mucilago: **15.440 kg**
Cisco de café: **1.725 kg**
Cascara de banano: **1.725 kg**
Urea: **0.087 kg**
Cal dolomita: **0.139 kg**

Tratamiento 5:

Pulpa de café con mucilago: **7.069 kg**
Estiércol Vacuno: **7.906 kg**
Cisco de café: **1.579 kg**
Cascara de banano: **1.579 kg**
Urea: **0.079 kg**
Cal dolomita: **0.127 kg**

Tratamiento 6:

Pulpa de café con mucilago: **8.747 kg**
Estiércol Vacuno: **4.889 kg**
Cisco de café: **1.466 kg**
Cascara de banano: **1.466 kg**
Urea: **0.079 kg**
Cal dolomita: **0.118 kg**

Los materiales se depositaron dentro de cada tambor hasta llenarlo 2/3, dejando un espacio para la aireación y mezcla. El volteo se realizó cada tres días, conforme a la metodología recomendada por Navarro (2014).

2.5. MUESTREO

El muestreo se realizó conforme al protocolo del Laboratorio INIA (2015), que aconseja tomar como mínimo cinco sub-muestras en los dos lados de la compostera y de preferencia a diferentes profundidades; una vez se tomó las sub-muestras de cada tratamiento, se mezcló en un balde, previamente lavado y desinfectado; y se depositó en una bolsa ziploc, se identificó y se guardó en una nevera de icopor hasta su traslado a los laboratorios. Se mezcló el mismo día en que se tomó las muestras.

Cada nueve (9) días se tomó una muestra significativa de cada tratamiento y se realizó pruebas de seguimiento a la evolución del compost y los parámetros cinéticos de la degradación de la pulpa de café, hasta la obtención del producto final.

2.6. EVOLUCIÓN DEL COMPOST

2.6.1. Temperatura interna (Ti) (°C):

La temperatura interna del compost se midió con un equipo Extech EA 15 con sonda. La medición de cada tratamiento se realizó diariamente, introduciendo la sonda del equipo en el compost en tres puntos diferentes.

2.6.2. Contenido de Humedad (H) (%):

La humedad en base húmeda se calculó de acuerdo a la metodología propuesta por Sadzawka, Carrasco, Grez & Mora (2015). Se pesó 10 gramos de compostaje en crisoles pre-pesados a 70 ± 5 °C durante 24 horas, esta medición se realizó por triplicado. Se calculó el porcentaje de humedad con la **Ecuación 1**:

$$H_{\%} = \frac{(a-b)}{a} * 100 \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde

a= masa inicial en gramos de la muestra

b= masa en gramos de muestra seca a 70 ± 5 °C

2.6.3. Sólidos totales (ST) (%):

Se calculó el porcentaje de los sólidos totales teniendo en cuenta los datos de a y b utilizados para el cálculo de humedad, con la **ecuación 2**:

$$ST_{\%} = \frac{b}{a} * 100 \quad \text{Ecuación 2.}$$

2.6.4. Materia Orgánica (MO) (%):

Se utilizó la muestra seca a 70 ± 5 °C (b) y se realizó por triplicado conforme a (Callejas, 2008). Se colocaron los crisoles en una mufla y se elevó lentamente la temperatura hasta 550 °C, la cual se mantuvo durante 2 horas y luego se bajó lentamente hasta llegar a 200 °C. Posterior a ello los crisoles se retiraron de la mufla y se trasladaron a un desecador, para su enfriamiento y pesaje. El cálculo del porcentaje de materia orgánica se realizó por medio de la **ecuación 3**

$$MO_{\%} = \frac{(b-c)}{b} * 100 \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde

b= masa en gramos de muestra seca a 70 ± 5 °C

c= masa en gramos de muestra calcinada a 550 °C

2.6.5. pH:

El pH se determinó aplicando la metodología de Cereijo, Fierro, Villar, Rodríguez, Mato, Domínguez & Patiño (2007), que consistió en introducir el potenciómetro a una suspensión de 10 g de material fresco en 100 ml de una solución 0,01 M de CaCl₂ hasta estabilizar la lectura. Este procedimiento se realizó tres veces por tratamiento.

2.6.6. Densidad real (Dr) ($\text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$):

Se siguió el método del picnómetro realizado por la Escuela de Geociencias (2015), que consistió en pesar 2 gr de muestra seca a 105°C, la cual se introdujo en un picnómetro seco y previamente pesado; se le adicionó agua destilada hasta un tercio del volumen y se ubicó

en un desecador por 2 horas; pasado el tiempo, se retiró y se completó el volumen hasta dos tercios. Nuevamente se introduce al desecador por 1 hora, al cual se le completa el volumen y se pesa. Finalmente se pesó el picnómetro con agua destilada.

Datos necesarios para los cálculos:

- a) Peso picnómetro vacío (g)
- b) Peso picnómetro + muestra (g)
- c) Peso picnómetro + muestra + agua (g)
- d) Peso picnómetro + agua (g)
- e) Densidad del agua ($\text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$)

El peso de la muestra se calculó mediante la **ecuación 4**:

$$P_{muestra}(\text{gr}) = (b - a) * e \text{ Ecuación 4.}$$

El volumen de la muestra se calcula mediante la **ecuación 5**:

$$V_{muestra}(\text{cm}^3) = (d - a) - (c - b) \text{ Ecuación 5.}$$

La densidad real de la muestra se calculó mediante la **ecuación 6**:

$$Dr_{muestra}(\text{gr}/\text{cm}^3) = (P_{muestra}/V_{muestra}) \text{ Ecuación 6.}$$

2.6.7. Densidad aparente (Da) (gr/cm³):

Se utilizó el método del cilindro recomendado por la Escuela de Geociencias (2015) donde se describe el siguiente procedimiento:

Con un cilindro de diámetro y altura conocidos, se tomó la muestra de compost en un punto específico, evitando disturbar el sustrato, luego se llevó al laboratorio y se secó toda la muestra contenida dentro del cilindro a 105 °C por 48 horas. Para el determinar el valor de densidad aparente se siguió la **ecuación 7**:

$$Da_{muestra}(\text{gr}/\text{cm}^3) = (\text{Peso muestra}/\text{Volumen cilindro}) \text{ Ecuación 7.}$$

2.6.8. Porosidad (P) (%):

La porosidad se calculó utilizando la **ecuación 8** recomendadas por Torrente (2014):

$$P_{\%} = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) * 100 \text{ Ecuación 8.}$$

2.7. ESTABILIDAD DEL COMPOST

2.7.1. Estimación de CO₂:

Incubación-Titulación. Se realizó adaptando el método empleado por Mora (2006) y validado por Ochoa & Urroz (2011), que consistió en depositar 50 gramos de muestra, en un recipiente transparente de un volumen conocido y con cierre hermético. Se llevó a incubación en un cuarto oscuro a condiciones ambientales de 25°C y 58% de humedad relativa por un tiempo de 24 horas. Transcurrido el tiempo, se instaló dentro del recipiente un vaso de precipitado con 10 ml de NaOH a 0,2 N y se incubó por 96 horas. Luego de esto se retiró del recipiente hermético el vaso con los 10 ml de NaOH 0,2N y se le adicionó una alícuota de 1ml de BaCl₂ al 20%, tres gotas de fenolftaleína y se llevó a titulación con HCl 0,1 N, verificando con el potenciómetro que el pH llegara a 8,3. Cada tratamiento se realizó por triplicado. Para el blanco (muestra testigo) se realizó el mismo procedimiento pero sin muestra de compost dentro del recipiente hermético. La concentración de CO₂ emitida por las muestras, se determinó utilizando la **ecuación 8** planteada por Gasca (2010):

$$Co_2(\mu gCo_2 * g^{-1}) = ((B - T) * N * 0.006) / P * 10^6 \text{ Ecuación 8.}$$

Dónde:

B y T= Lectura del blanco (B) y titulación muestra (T).

N= Normalidad del HCl.

P= peso de la muestra en gramos.

2.7.2. Carbono orgánico total (CO) (μgCO₂·g⁻¹).

La determinación del carbono orgánico se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Surcolombiana, de acuerdo al protocolo de la NTC 5403 modificado que utiliza el método de Walkley y Black. La cantidad de muestra que se empleó fue de 12 gramos.

2.8. Madurez del compost.

La madurez del compost se midió a través de ensayos de fitotoxicidad conforme al método descrito por Zucconi, Pera, Forte & De Bertoldo (1981), modificado por Callejas (2008) el cual permitió estudiar el índice de germinación (IG).

Para ello se preparó extractos acuosos en relación 1:10 (Peso/Volumen) de mezcla de compostaje y agua destilada. Se tomó una alícuota de 9 ml de cada suspensión y se depositó en cajas de Petri con papel filtro. Sobre cada placa se agregó doce (12) semillas de rábano (*Raphanus sativus*) y se dejó incubar por seis días a una temperatura de 25 °C. Se realizó los ensayos por triplicado, más un blanco como control (agua destilada).

El índice de germinación se determinó con la **ecuación 9**:

$$IG = \left(\frac{G * L}{Gc * Lc} \right) * 100 \text{ Ecuación 9.}$$

Dónde:

G= Promedio de semillas germinadas en la muestra.

Gc= Promedio de semillas germinadas en el blanco.

L = Promedio de longitud de raíces en la muestra (mm).

Lc= Promedio de longitud de raíces en el blanco (mm).

2.9.Tratamiento Estadístico de los datos

Se realizó un análisis estadístico para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos utilizando el programa estadístico **STATGRAPHICS® Centurión XVI** llevando a cabo un análisis de varianza (ANOVA Multifactorial) y utilizando el método de Tukey para la comparación de las medias.

El procedimiento ANOVA Multifactorial está diseñado para construir un modelo estadístico describiendo el impacto de dos o más factores categóricos X_j de una variable dependiente Y . Se realizan pruebas para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias a diferentes niveles de los factores y si hay o no interacciones entre los factores. Además, los datos pueden desplegarse gráficamente de varias maneras, incluyendo un gráfico múltiple de dispersión, una gráfica de medias y una gráfica de interacciones.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los resultados estadísticos obtenidos de cada uno de los parámetros evaluados en el proceso del compost para cada tratamiento, mediante el programa **STATGRAPHICS® Centurión XVI**. Estos resultados incluyen gráficos del comportamiento de las variables en el tiempo, el análisis de varianza con suma de cuadrados tipo III, las pruebas de rangos múltiples y las medias estimadas por mínimos cuadrados con el valor promedio de los parámetros para cada tratamiento.

3.1. EVOLUCIÓN DEL COMPOST

3.1.1. Temperatura interna y Temperatura Superficial.

El siguiente gráfico relaciona el comportamiento de la temperatura interna con el tiempo de los diferentes tratamientos utilizados.

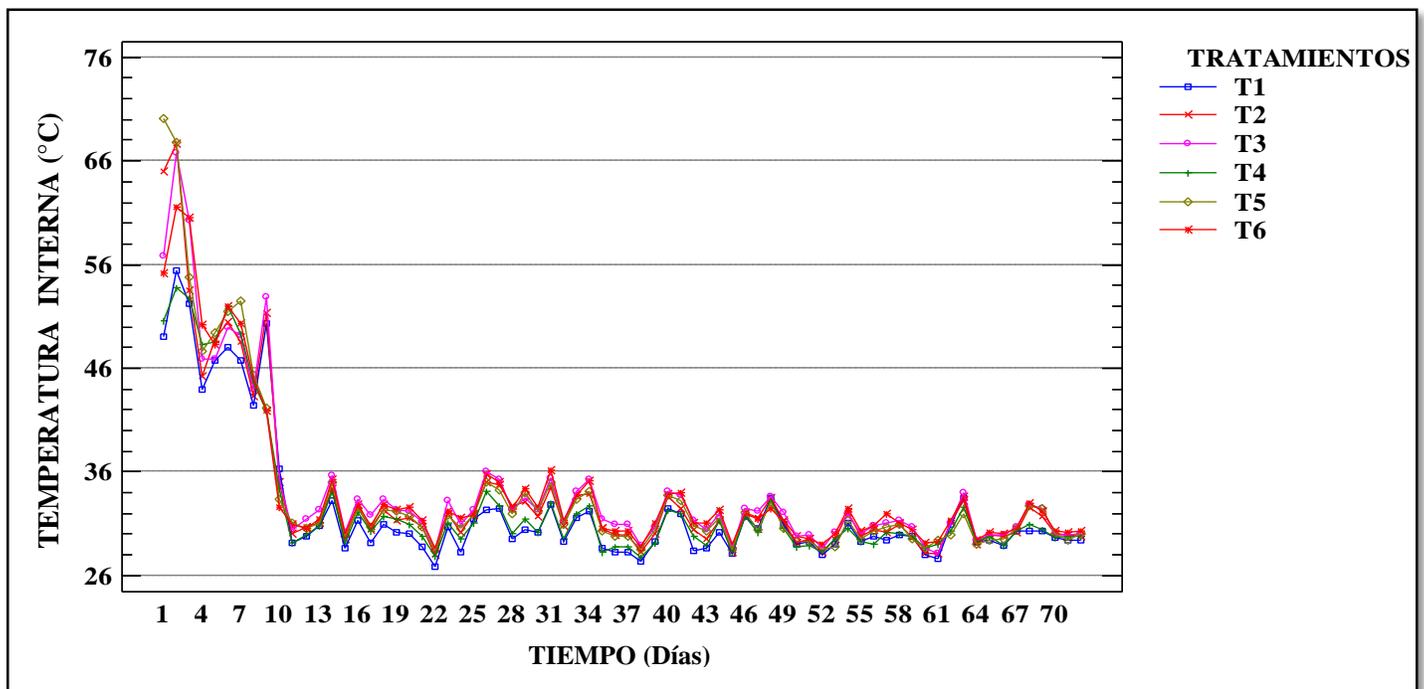


Figura 4. Comportamiento de la temperatura interna vs tiempo de los tratamientos.

De acuerdo a la **Figura 4**, los tratamientos iniciaron su proceso de descomposición con valores de temperatura en un rango de 48°C a 70°C. La descomposición indica que se presenta actividad microbiana dentro de cada uno de los tratamientos, la cual está relacionada con el contenido de materia orgánica presente. El Manual de Compostaje del Agricultor

propuesto por la FAO (2013) afirma que al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos liberan calor.

La fase termófila duró aproximadamente hasta el día 12 dando inicio a la fase de Enfriamiento o fase Mesófila con un intervalo de temperatura entre 26 y 36 °C hasta su estabilidad térmica a los 64 días obteniéndose el punto de maduración.

Por la evolución de la temperatura se puede evaluar la eficiencia y el grado de estabilización a la que ha llegado el proceso, ya que existe una relación directa entre la temperatura y la magnitud de la degradación de la materia orgánica. A su vez se evidencia que durante los primeros días, donde la temperatura es alta, hay una mayor degradación de la materia orgánica (Márquez, Díaz, & Cabrera, 2010).

A continuación, en la **Tabla 4** se presentan los datos de la ANOVA en donde se muestra la variabilidad de temperatura interna respecto a los factores tratamiento y tiempo. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de estos factores. Para el tratamiento y tiempo los valores-P son menores que **0.05**; lo cual indica que presentó un efecto estadísticamente significativo con un **95.0%** de nivel de confianza.

Tabla 4. Análisis de varianza para la temperatura interna- Suma de cuadrados tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTO	664.507	5	132.901	102.98	1.E-08
B:TOMA	66872.6	71	941.867	729.81	1.E-08
INTERACCIONES					
AB	2429.96	355	6.84497	5.30	1.E-10
RESIDUOS	1115.04	864	1.29056		
TOTAL (CORREGIDO)	71082.1	1295			

En la **Tabla 5** se han identificado 4 grupos homogéneos (A, B, C y D) según la alineación de las X's en columna 'Grupos Homogéneos'. Esto indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos tratamientos que compartan el mismo grupo homogéneo. Lo que permite establecer que los tratamientos T2, T5 y T6 no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí, al igual que los tratamientos T6 y T3 con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 5. Pruebas de rangos múltiples para la temperatura interna por tratamiento.

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

TRATAMIENTO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T1	216	32.3889	0.0772969	A
T4	216	32.7255	0.0772969	B
T2	216	33.8009	0.0772969	C
T5	216	33.9174	0.0772969	C
T6	216	34.0889	0.0772969	CD
T3	216	34.2991	0.0772969	D

Con estos datos, se construye un gráfico de medias que permite interpretar los efectos significativos que tiene cada tratamiento. Para cada parámetro se construye una gráfica que relaciona el nivel de medias y un rango de valores del parámetro evaluado. Se calcula si existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% entre los tratamientos, si al trazar una línea horizontal en uno de los puntos que involucra un valor del tratamiento, este traslapa el mismo valor con otro tratamiento.

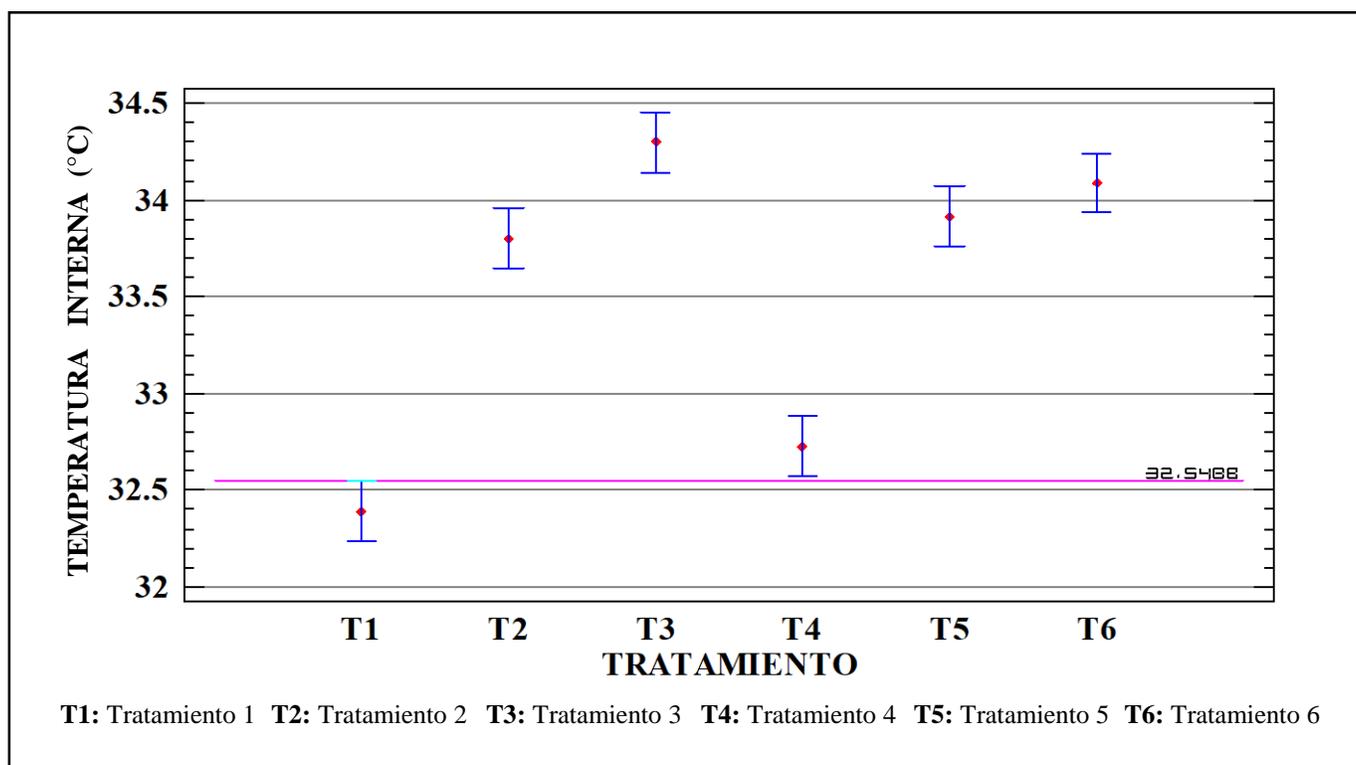


Figura 5. Medias estimadas por mínimos cuadrados para la temperatura Interna (95% de Tukey HSD).

En la **Figura 5**, se identifica que ninguno de los tratamientos presenta traslape o similitud con los rangos de valores de temperatura, es decir que en la temperatura, todos los tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Por otro lado se pudo apreciar que los tratamientos con estiércol vacuno (T3 y T6), presentaron mayores

rangos de temperatura, siendo el T3 el mayor, mientras que los tratamientos control (T1 y T4) presentaron los rangos más bajos, resaltando que entre estos ultimo dos tratamientos hubo una pequeña diferencia en valores.

En la **Figura 6** se encontró que la temperatura superficial presento un comportamiento muy irregular teniendo en cuenta que el clima es un factor muy influyente en esta variable dado a que el seguimiento del proceso y las composteras se encontraban ubicadas al aire libre.

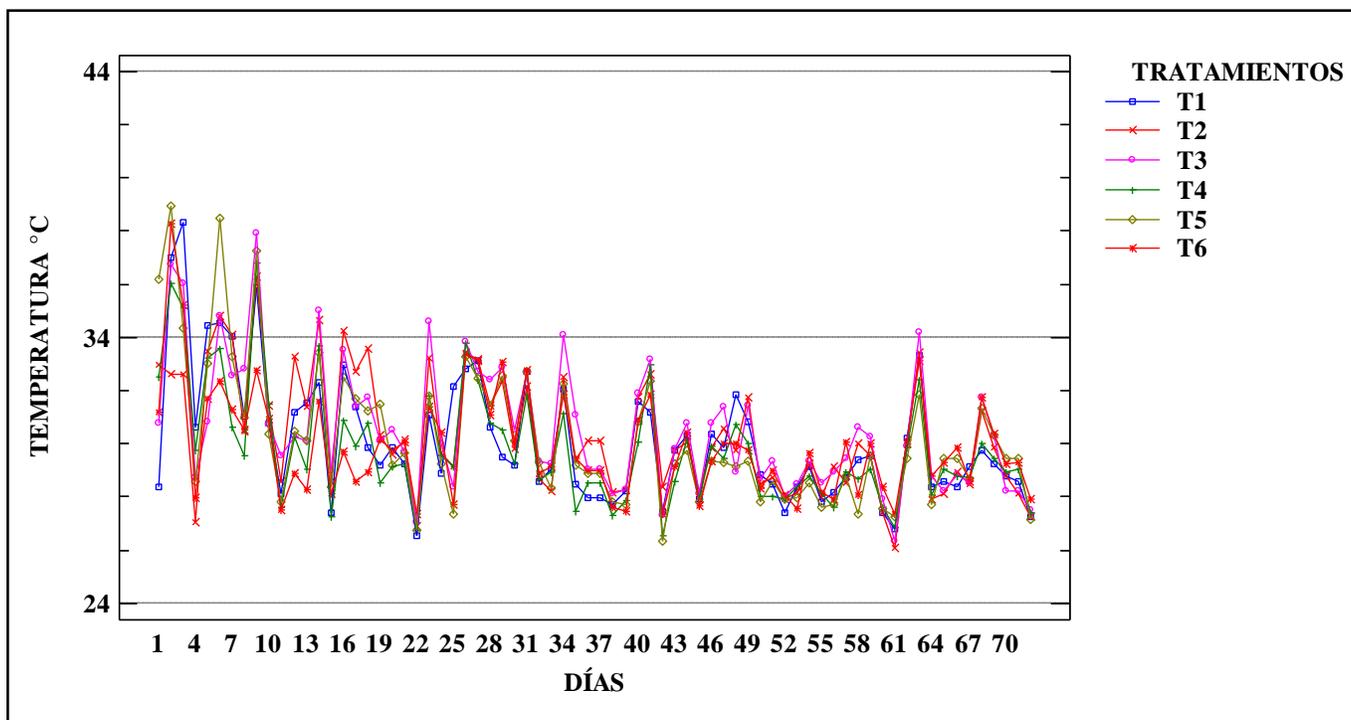


Figura 6. Comportamiento de la temperatura superficial vs tiempo.

El uso de composteras rotatorias para la elaboración de compost, mejoro el proceso de aireación del mismo, dado a que dichas composteras se encontraban perforadas, permitiendo así el flujo de aire del ambiente, esto influyo directamente en el valor de la temperatura superficial del compost.

Los datos del análisis de varianza para la temperatura superficial respecto a los factores tratamiento y tiempo, se muestran en la **Tabla 6**. Teniendo en cuenta los valores de la columna Valor-P, es posible identificar que se presentó un efecto estadísticamente significativo con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 6. Análisis de varianza para la temperatura superficial- Suma de cuadrados tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTO	85.0139	5	17.0028	25.30	1.E-07
B:TOMA	5932.24	71	83.5527	124.32	1.E-07
INTERACCIONES					
AB	951.112	355	2.67919	3.99	1.E-10
RESIDUOS	580.653	864	0.672052		
TOTAL (CORREGIDO)	7549.02	1295			

En la **Tabla 7** se han identificado 5 grupos homogéneos (A, B, C, D, E) según la alineación de las X's en la columna 'Grupos Homogéneos' a diferencia de los resultados arrojados para la temperatura interna de cada tratamiento, estos presentaron 4 pares de tratamientos que tienen diferencias estadísticamente significativas entre ellos (T4-T6, T6-T1, T1-T5, T5-T2, T2-T3).

Tabla 7. Pruebas de rangos múltiples para la temperatura superficial por tratamiento.

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

TRATAMIENTO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T4	216	29.7954	0.0557795	A
T6	216	29.9139	0.0557795	AB
T1	216	30.1065	0.0557795	BC
T5	216	30.1653	0.0557795	CD
T2	216	30.3579	0.0557795	DE
T3	216	30.5583	0.0557795	E

En la **Figura 7** se observa que los tratamientos control (T1 y T4) presentaron diferencias significativas cuando se esperaba un comportamiento similar entre estos. Los valores de temperatura superficial encontrados para cada tratamiento fueron diferentes entre sí, a pesar de que estaban influenciados por las mismas condiciones climáticas, cada uno de ellos presentaban elementos internos que alteraban de forma positiva o negativa la temperatura superficial debido a su contacto directo.

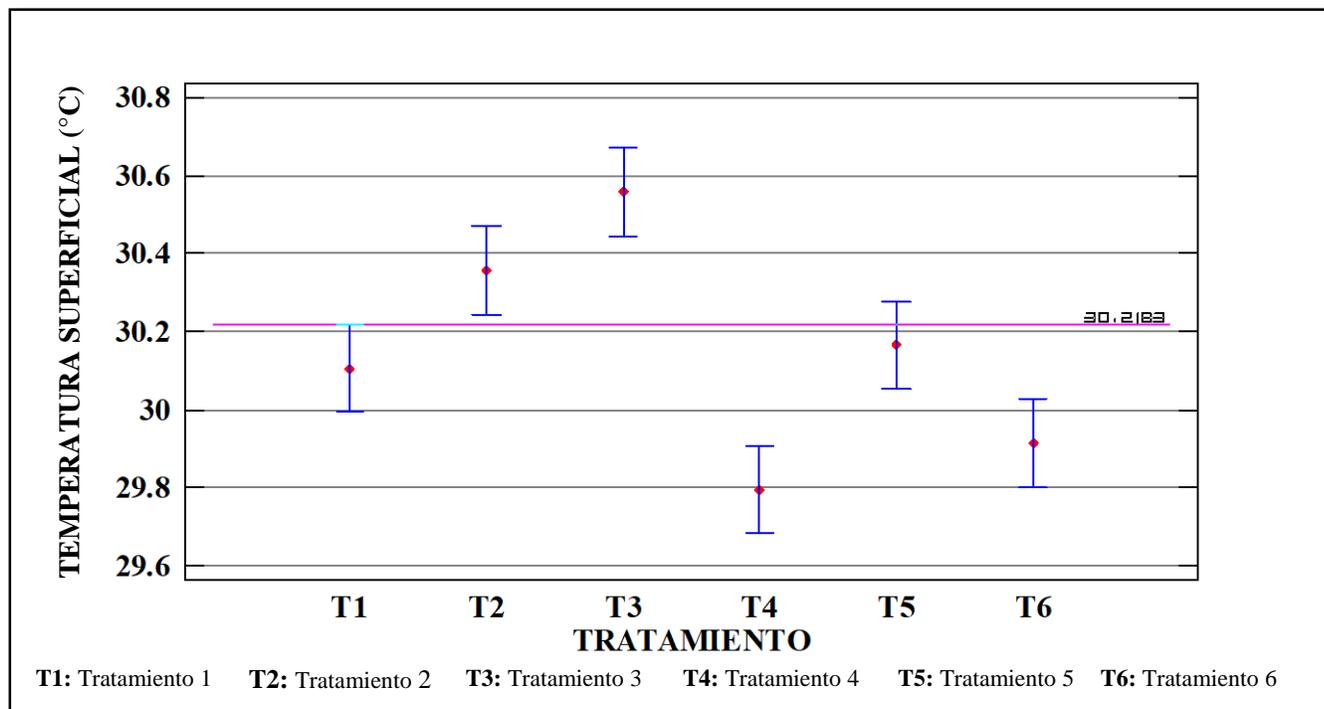


Figura 7. Medias estimadas por mínimos cuadrados para la temperatura superficial (95% de Tukey HSD).

3.1.2. Contenido de Humedad.

En la **Figura 8** se relaciona el contenido de humedad en porcentaje vs el tiempo en días de cada tratamiento. Se aprecia un comportamiento decreciente que tiene la Humedad a lo largo del tiempo, los Tratamientos testigo (T1 y T4) inician con un mayor porcentaje a diferencia de los otros Tratamientos y durante el tiempo siguen manteniendo la tendencia, esto se debe a la mayor concentración de pulpa de Café teniendo en cuenta el contenido de agua que posee la pulpa fresca (ver **Tabla 2**). Las pérdidas de Humedad fueron menores en los tratamientos T2, T3, T5 y T6. A lo largo del proceso de compostaje es posible apreciar en todos los tratamientos que el comportamiento de la humedad es muy variable, esta variabilidad podría depender de los cambios de clima durante dicho proceso, de igual manera podría hacer referencia a una no adecuada toma de muestras. Sin embargo se aprecia que todos los tratamientos disminuyen su humedad a lo largo del tiempo.

Este comportamiento decreciente concuerda con lo estipulado por (FAO, 2013), teniendo en cuenta que la humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos. Todos los seres vivos usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. A lo largo del tiempo el compost sufre cambios en su composición y contenido de materia orgánica (Ver **Figura 12**) y al transcurrir el tiempo la humedad se reduce notablemente reduciendo de igual manera la actividad microbiana.

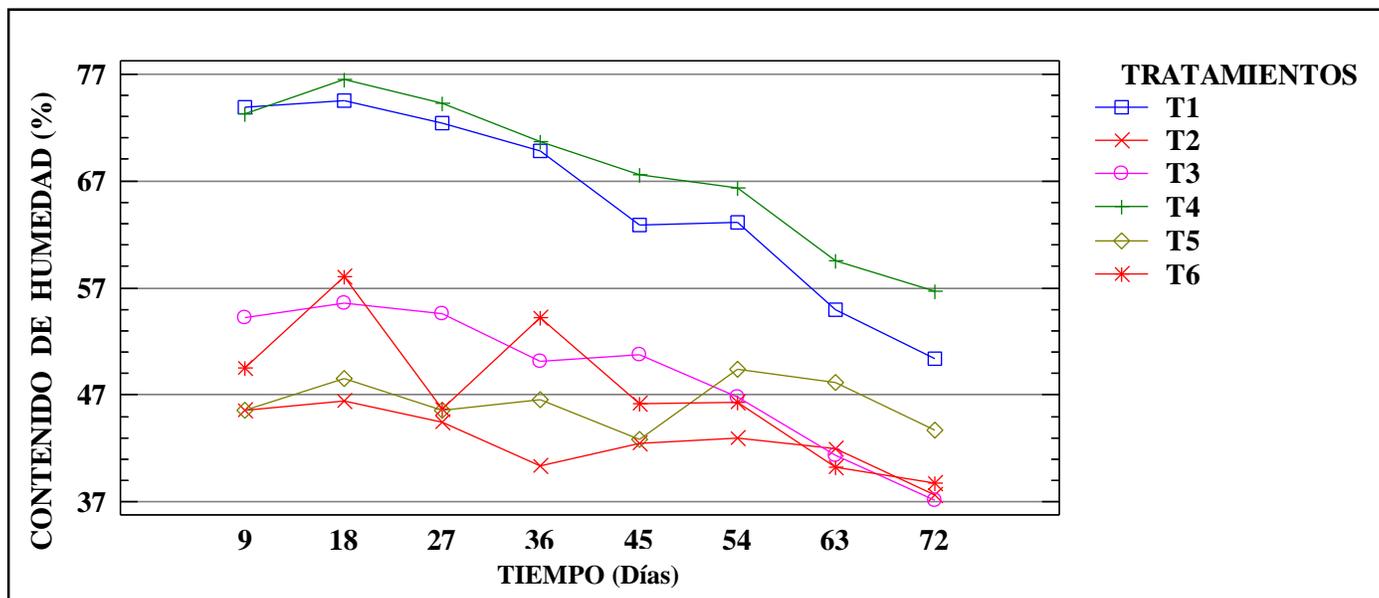


Figura 8. Comportamiento del contenido de humedad vs tiempo.

Un factor determinante para dicho contenido de humedad es la relación de pulpa de café en cada uno de ellos, pues la pulpa es el componente que mayor contenido de humedad posee respecto a los demás componentes utilizados en el compost. Siendo el compostaje un proceso biológico de descomposición de la materia orgánica, la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los productos de deshecho de las reacciones que tienen lugar durante dicho proceso. Algunos autores como Haug (1993), Madejon y Col (2002), Jeris y Col (1973) consideran que la humedad de los materiales es la variable más importante en el compostaje y ha sido calificada como un importante criterio para la optimización del compostaje (Márquez et al., 2010). Los datos del análisis de varianza para el contenido de humedad respecto a los factores tratamiento y tiempo, se muestran en la **Tabla 8**. Los valores de la columna Valor-P, indican que se presentó un efecto estadísticamente significativo con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 8. Análisis de varianza del contenido de humedad- Suma de cuadrados tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	13811.4	5	2762.29	427.91	1.E-07
B:TOMA	3374.21	7	482.03	74.67	1.E-09
INTERACCIONES					
AB	1465.78	35	41.8794	6.49	1.E-08
RESIDUOS	619.703	96	6.45524		
TOTAL (CORREGIDO)	19271.1	143			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

En la **Tabla 9** se han identificado 5 grupos homogéneos (A, B, C, D y E) según la alineación de las X's en la columna 'Grupos Homogéneos'. Para esta variable se encuentran dos pares de tratamientos que no presentan diferencias significativas entre ellos (T3-T6 y T6- T5)

Tabla 9. Pruebas de rangos múltiples para el contenido de humedad por tratamientos.

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

TRATAMIENTOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T2	24	42.7629	0.518622	A
T5	24	46.2946	0.518622	B
T6	24	47.3887	0.518622	BC
T3	24	48.8362	0.518622	C
T1	24	65.2196	0.518622	D
T4	24	68.0875	0.518622	E

En la **Figura 9** se puede apreciar que los tratamiento que mantuvieron mayor contenido de humedad según la media estimada por mínimos cuadrados fueron los tratamientos testigos (T1 y T4) con un comportamiento similar, sin embargo se observa que estos dos tratamientos presentan diferencias estadísticamente significativas.

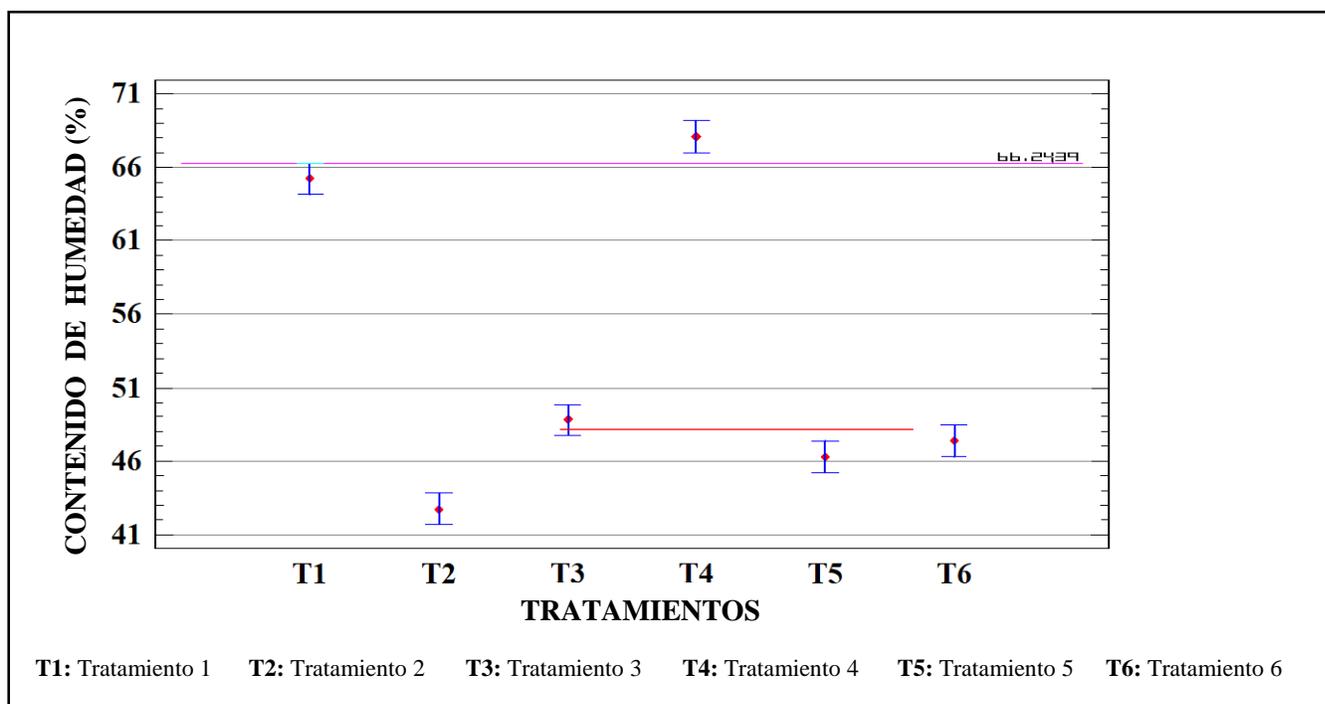


Figura 9. Medias estimadas por mínimos cuadrados para el contenido de humedad (95% Tukey HSD).

Los tratamientos T2 y T5 conservaron el mismo comportamiento de los tratamientos testigo conservando más humedad el tratamiento con mucílago; esto se debe a que el mucilago se caracteriza por tener una fuerte capacidad de retención del agua debido a su composición (Moreno & Romero, 2016). En el caso de los tratamientos T3 y T6, esta relación no se

mantiene, los valores de contenido de humedad del tratamiento sin mucilago (T3) son mayores al que presenta el tratamiento con mucilago (T6).

3.1.3. Sólidos Totales.

El contenido de sólidos totales en porcentaje, se calculó en base húmeda teniendo en cuenta la información utilizada para el cálculo de humedad en donde se relaciona la masa en gramos de la muestra seca a 70 ± 5 °C sobre la masa inicial en gramos de la muestra.

La **Figura 10** muestra que la disponibilidad de sólidos totales en los diferentes tratamientos aumenta con el tiempo, la variabilidad de este parámetro va ligado al contenido de humedad del producto, evidenciándose una relación inversamente proporcional entre el valor de los sólidos totales y el contenido de humedad de cada tratamiento. (**Figura 8**). Esto quiere decir que a mayor porcentaje de humedad, menor será el porcentaje de sólidos totales o a menor porcentaje de humedad, mayor será el porcentaje de sólidos totales.

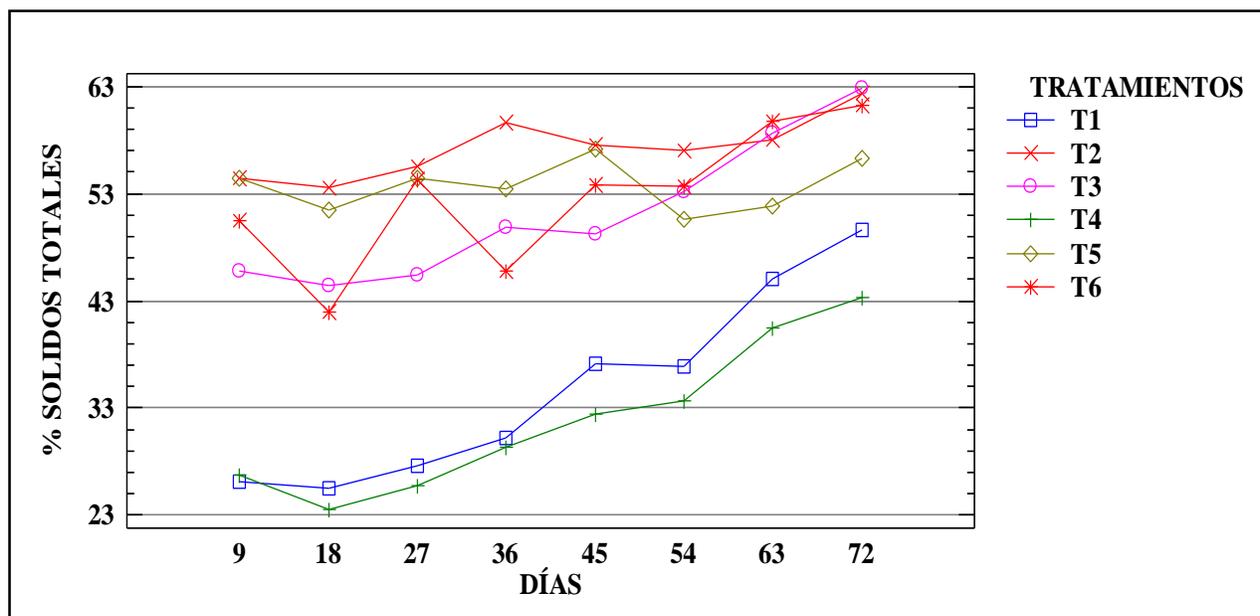


Figura 10. Comportamiento de los sólidos totales vs tiempo.

Los datos del análisis de varianza para el contenido de sólidos totales respecto a los factores tratamiento y tiempo, se muestran en la **Tabla 10**. Los valores de la columna Valor-P, indican que se presentó un efecto estadísticamente significativo con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 10. Análisis de varianza del contenido de sólidos totales- Suma de cuadrados tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	13811.4	5	2762.29	427.91	1.E-07
B:TOMA	3374.21	7	482.03	74.67	1.E-09
INTERACCIONES					
AB	1465.78	35	41.8794	6.49	1.E-08
RESIDUOS	619.703	96	6.45524		
TOTAL (CORREGIDO)	19271.1	143			

En la **Tabla 11** se han identificado 5 grupos homogéneos (A, B C, D y E), en donde es posible identificar dos pares de tratamientos que no presentan diferencias, estos son los tratamientos (T3- T6 y T6- T5).

Tabla 11. Pruebas de rangos múltiples para el contenido de sólidos totales por tratamientos.
Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

TRATAMIENTOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T4	24	31.9125	0.518622	A
T1	24	34.7804	0.518622	B
T3	24	51.1638	0.518622	C
T6	24	52.6112	0.518622	CD
T5	24	53.7054	0.518622	D
T2	24	57.2371	0.518622	E

En la **Figura 11** se puede apreciar que los tratamiento que mantuvieron mayor contenido de humedad según la media estimada por mínimos cuadrados (ver **Figura 9**) son los que presentaron menor contenido de sólidos totales ya que para determinar esta variable se maneja la relación entre la muestra seca y la muestra inicial (**Ecuación 2**). Por lo tanto los tratamientos testigos (T1 y T4) por ser los que presentaron una mayor humedad fueron los que a su vez mostraron un menor contenido de sólidos totales.

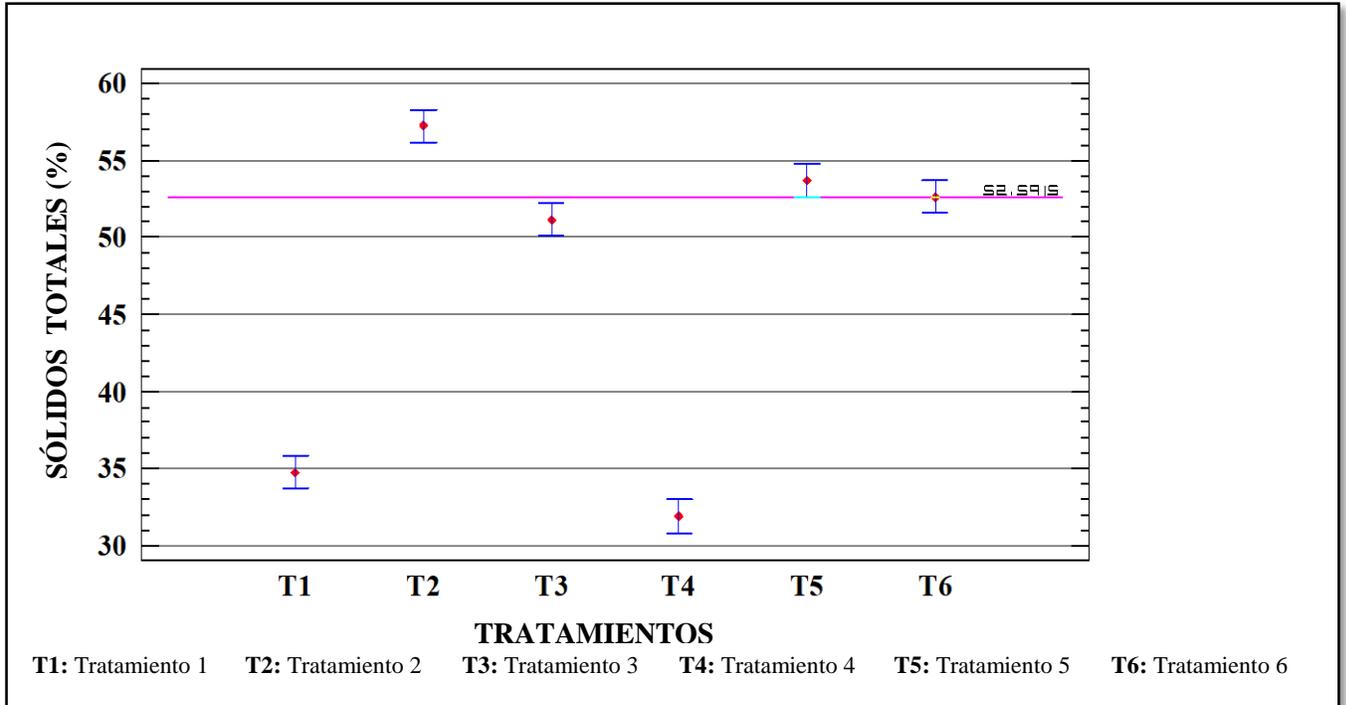


Figura 11. Medias estimadas por mínimos cuadrados para el contenido de sólidos totales (95% de Tukey HSD).

3.1.4. Materia Orgánica.

El contenido de materia orgánica en los diferentes tratamientos posee un comportamiento descendente (ver **Figura 12**) debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico; estas pérdidas pueden llegar a representar casi el 20% en peso de la masa compostada (Márquez et al., 2010).

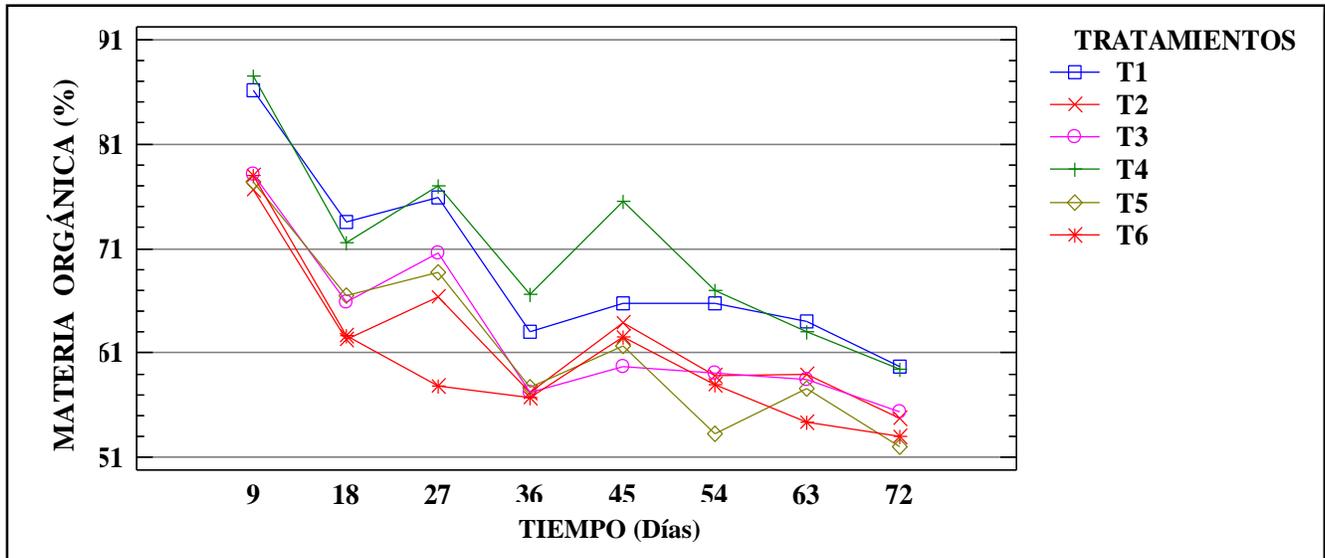


Figura 12. Comportamiento de la materia orgánica vs tiempo.

En el proceso de compostaje fue notoria la reducción del contenido de materia orgánica durante el tiempo en todos los tratamientos, sin embargo existió una diferencia muy significativa de los tratamientos T1 y T4 respecto a los demás, teniendo en cuenta que dichos tratamientos poseen un 100% de pulpa de café y su única diferencia es la adición de mucilago de café en uno de ellos. Al iniciar el proceso de compostaje se obtuvo que los tratamientos T1 y T4 presentaron valores promedios mayores en un 9.4% en comparación con los demás; al alcanzar la maduración estos valores promedios fueron mayores en un 5.8% mayores a los demás.

Los decrecimientos más pronunciados oscilaron entre los 9 y 18 días del proceso, durante este tiempo, se transforman las cadenas carbonadas largas en otras más cortas con la producción de compuestos simples; algunos de los cuales se reagrupan para formar moléculas complejas dando lugar a los compuestos húmicos, que una vez consumidos los compuestos lábiles, otros materiales más resistentes como las ligninas se van degradando lentamente y/o transformando en compuestos húmicos (Márquez et al., 2010).

Pasado los 18 días de su proceso, el descenso lo llevo a valores entre los 60 y 50 % de materia orgánica, sin embargo a los 72 días los tratamientos testigo fueron los que siguieron presentando un mayor contenido de materia orgánica.

La pulpa de café y el mucilago son componentes determinantes para el contenido de materia orgánica en cada uno de los tratamientos, además dada la naturaleza físico-químico de la pulpa y el mucilago del café, poseen una gran variedad de microorganismo en la fase de transformación y estabilización de la materia orgánica que aceleran el proceso de degradación (Blandón, Dávila & Rodríguez, 1999). La velocidad de transformación de materia orgánica depende de su naturaleza física y química, de los microorganismos que

intervienen y de las condiciones físico-químicas del proceso (humedad, aireación, temperatura y pH) (Márquez et al., 2010).

Los datos del análisis de varianza para el contenido de materia orgánica respecto a los factores tratamiento y tiempo, se muestran en la **Tabla 12**. Los valores de la columna Valor-P, indican que se presentó un efecto estadísticamente significativo con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 12. Análisis de varianza del contenido de materia orgánica - Suma de cuadrados tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	2274.63	5	454.927	27.70	1. E-08
B:TOMA	7788.74	7	1112.68	67.74	1. E-08
INTERACCIONES					
AB	611.138	35	17.4611	1.06	0.3964
RESIDUOS	1576.81	96	16.4251		
TOTAL (CORREGIDO)	12251.3	143			

En la **Tabla 13** se han identificado 2 grupos homogéneos (A y B). Esta columna indica que no hay diferencia significativa entre los tratamientos (T6, T5, T2, T3) y entre (T1 y T2) con un nivel del **95.0%** de confianza.

Tabla 13. Pruebas de rangos múltiples para el contenido de materia orgánica por tratamientos.

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

TRATAMIENTOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T6	24	60.3821	0.827272	A
T5	24	61.845	0.827272	A
T2	24	62.3563	0.827272	A
T3	24	63.0475	0.827272	A
T1	24	69.2488	0.827272	B
T4	24	70.9521	0.827272	B

En la **Figura 13** se puede observar que los tratamientos testigos (T1 y T4) son los que presentan mayor contenido de materia orgánica durante el proceso de compostaje. Esto se debe a su concentración en la pulpa de café. El estiércol posee una cantidad significativa de flora bacteriana así como de nitrógeno (N), factores indispensables para la descomposición de la materia orgánica, y como a estos tratamientos no se le agregó estiércol es posible que la descomposición de la materia orgánica haya sido menor en comparación a los demás

tratamientos coincidiendo con Pierre et al. (2009) que afirma que la cantidad de estiércol influye en el contenido final de la materia orgánica.

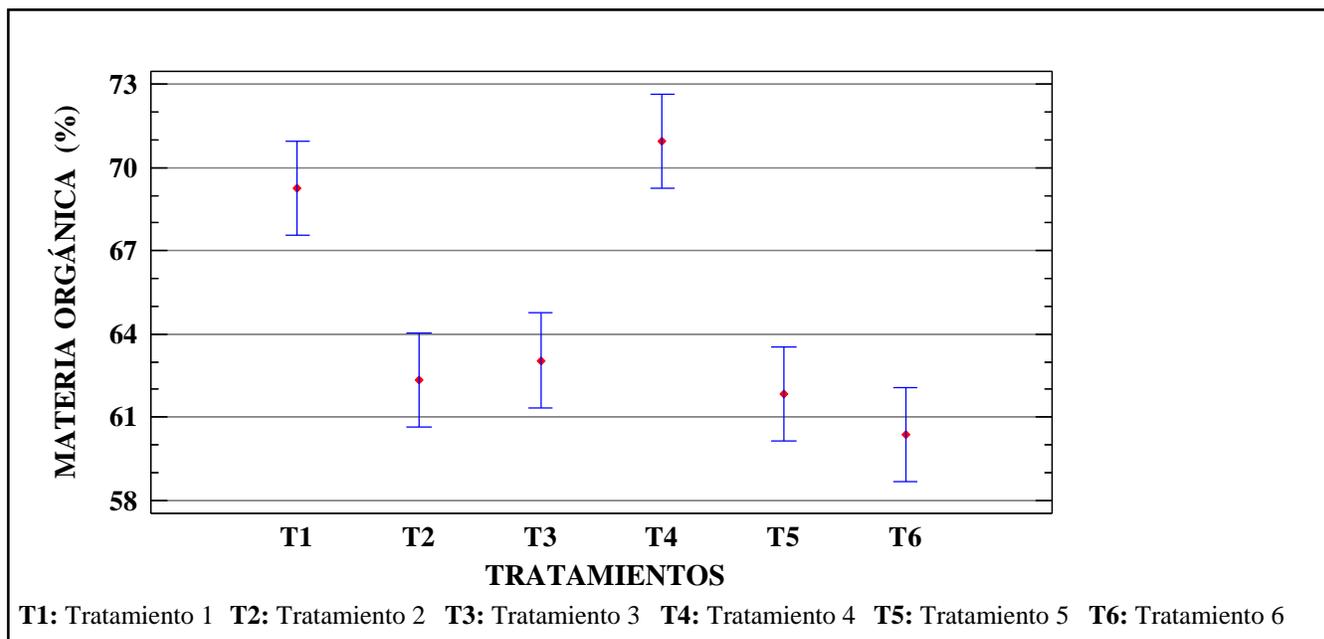


Figura 13. Medias estimadas por mínimos cuadrados para el contenido de materia orgánica (95% de Tukey HSD).

3.1.5. pH

La **Figura 14** muestra el comportamiento ascendente del pH durante el proceso de compostaje con valores de 8 y 9. Los tratamientos testigo inicialmente tenían pH más bajo comparado con los demás tratamientos, sin embargo al finalizar el proceso fueron los que presentaron valores más altos manteniendo un comportamiento ascendente. En los demás tratamientos el incremento de pH no fue tan significativo, aunque fueron los que inicialmente presentaron valores más altos de pH, al finalizar el proceso arrojaron valores menores.

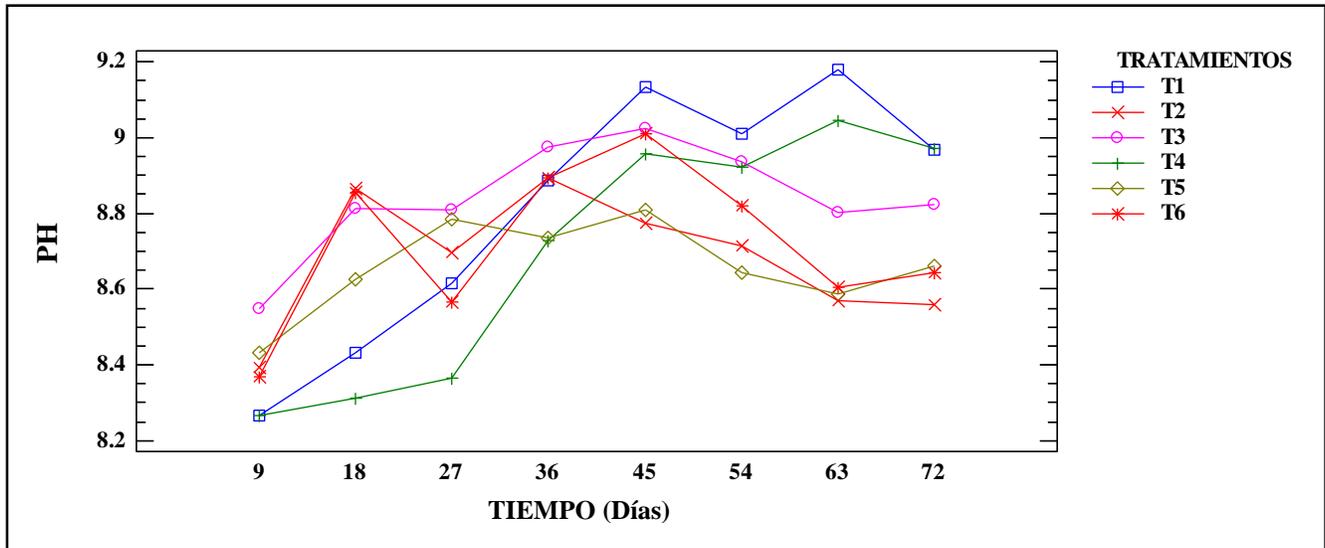


Figura 14. Comportamiento del pH vs tiempo.

Moreno & Romero (2016) en su trabajo de “Evaluación de diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras” obtuvieron resultados similares en la transformación de la pulpa de café como abono orgánico donde su valor inicial tienden a ser bajos pero luego de la primera semana presentaron en general la misma tendencia, esto es, un incremento en el pH de la masa, a partir de la semana 1, encontrándose para la mayoría de los casos, valores superiores a 9,00 para pH en la semana 4.

Márquez et al. (2010) afirma que algunos autores establecen que la variación del pH durante el proceso de compostaje se debe al desarrollo de tres fases. Durante la fase mesófila inicial se observa una disminución del pH debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más frágil, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos. En una segunda fase se produce una alcalinización progresiva del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas y en la tercera fase el pH tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos que tienen propiedades tampón. Como se observa en la **Figura 14**, todos los valores finales de pH en los tratamientos fueron alcalinos, esta condición permite establecer que una posible razón por la que no se llegó a la neutralidad se debe a que los microorganismos no lograron aprovechar todo el nitrógeno liberado al final de la fase 2.

Suler y col 1977, citado por Márquez et al. (2010) establecieron una relación entre los cambios de pH y la aireación de la mezcla, concluyendo que un compostaje con la aireación adecuada conduce a productos finales con un pH entre 7 y 8; valores más bajos del pH son indicativos de fenómenos anaeróbicos y de que el material aún no está maduro. Posteriormente estos mismos autores estudiaron la relaciones pH aireación-microorganismos existentes en el proceso, y dedujeron que la degradación orgánica se inhibe a pH bajos, por lo que si el pH se mantiene por encima de 7,5 durante el proceso es síntoma de una buena descomposición. Todos los valores de pH en los tratamientos fueron alcalinos,

Los datos del análisis de varianza para los valores de pH respecto a los factores tratamiento y tiempo, se muestran en la **Tabla 14**. Los valores de la columna Valor-P, indican que se presentó un efecto estadísticamente significativo con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 14. Análisis de varianza del pH - Suma de cuadrados tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	0.653822	5	0.130764	30.22	1.E-08
B:TOMA	3.96069	7	0.565813	130.78	1.E-08
INTERACCIONES					
AB	2.97151	35	0.0849003	19.62	1.E-07
RESIDUOS	0.415333	96	0.00432639		
TOTAL (CORREGIDO)	8.00136	143			

En la **Tabla 15** se han identificado 3 grupos homogéneos (A, B, y C) según la alineación de las X's en la columna "Grupos Homogéneos", en donde se encontró 9 pares de tratamientos que muestran diferencias estadísticamente significativas entre ellas (T5-T6, T5-T1, T5-T3, T2-T1, T2-T3, T4-T1, T4-T3, T6-T1, T6-T3) con un nivel del **95.0%**.

Tabla 15. Pruebas de rangos múltiples para el pH por tratamiento.

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

TRATAMIENTOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T5	24	8.66	0.0134263	A
T2	24	8.68333	0.0134263	AB
T4	24	8.69667	0.0134263	AB
T6	24	8.72	0.0134263	B
T1	24	8.81167	0.0134263	C
T3	24	8.84167	0.0134263	C

En la **Figura 15** teniendo en cuenta las medias de los valores de pH se puede observar que los tratamientos que presentaron menor valor de pH fueron los tratamientos que incluían mucilago a excepción del tratamiento T2, este valor atípico indica que hubo factores externos como la toma de datos y su respectivo procesamiento que alteraron los resultados finales.

TRATAMIENTOS

T1: Tratamiento 1 T2: Tratamiento 2 T3: Tratamiento 3 T4: Tratamiento 4 T5: Tratamiento 5 T6: Tratamiento 6

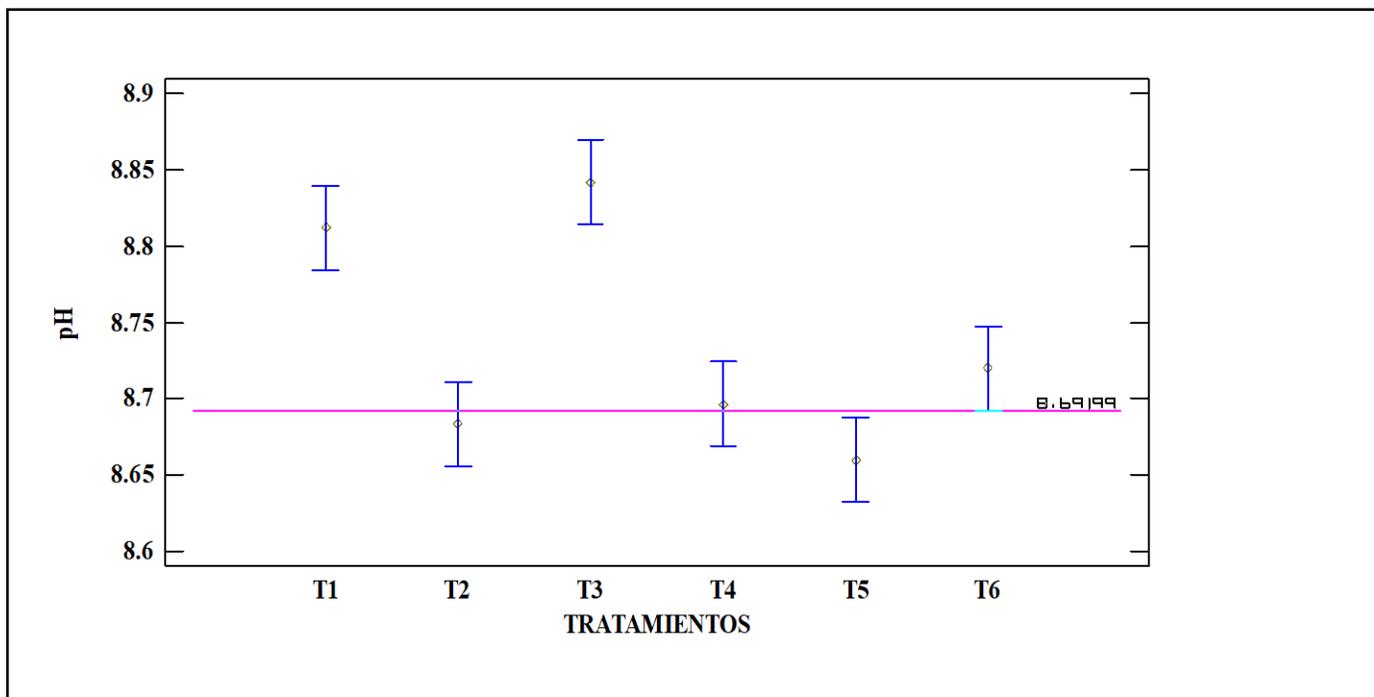


Figura 15. Medias estimadas por mínimos cuadrados para el pH (95% de Tukey HSD).

3.1.6. Densidad Real.

La densidad real durante todo el proceso de compostaje en los 6 tratamientos mantuvo un rango entre 1.3 y 2.1, tal y como lo muestra la **Figura 16**. Existió una variación mínima entre tratamientos, teniendo en cuenta que todos inician desde un mismo punto, pasado el tiempo se presentan variaciones poco significativas entre sí. Al finalizar el proceso (día 72), los tratamientos T2 y T4 obtienen el mismo valor de densidad real, comportamiento que se asemeja a los tratamientos T3 y T5. En dicho día, el rango de diferencia entre los tratamientos fue $0.49 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ aproximadamente.

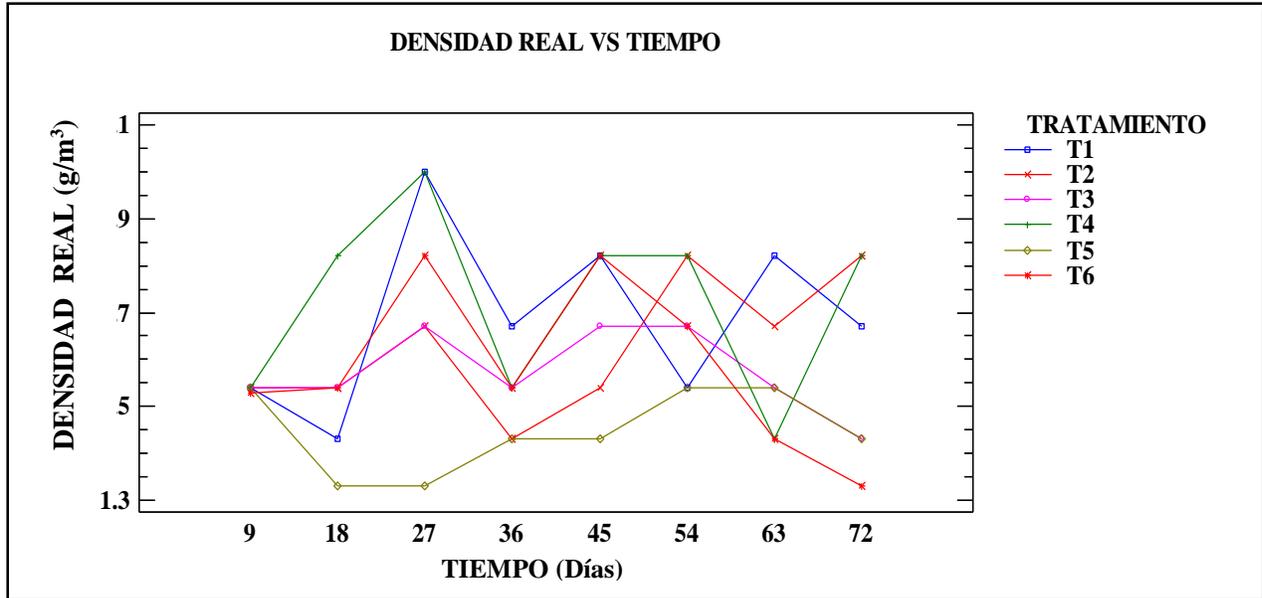


Figura 16. Comportamiento de la densidad real vs tiempo.

Los datos del análisis de varianza para los valores de pH respecto a los factores tratamiento y tiempo, se muestran en la **Tabla 16**. Los valores de la columna “Valor-P” son mayores a **0.05** lo cual indica que no se presentó un efecto estadísticamente significativo entre los tratamientos evaluados con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 16. Análisis de varianza para densidad real - Suma de cuadrados tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTO	0.38185	5	0.07637	1.00	0.5000
B:TOMA	0.295967	7	0.042281	1.00	0.5000
INTERACCIONES					
AB	0.675083	35	0.0192881		
RESIDUOS	0	0			
TOTAL (CORREGIDO)	1.3529	47			

Con la **Figura 17** se puede validar la información anterior al demostrar que todos los valores de las medias de la densidad real se encuentran en el mismo rango sin presentar diferencias significativas teniendo en cuenta la confiabilidad que nos da la prueba de un 95%.

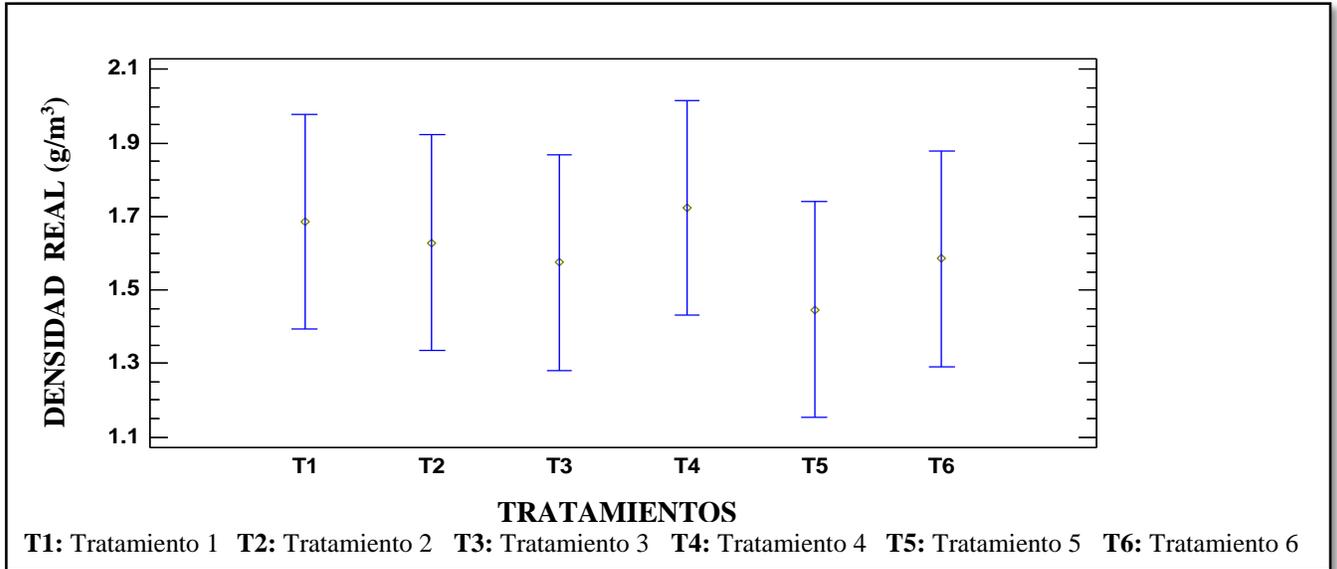


Figura 17. Medias estimadas por mínimos cuadrados para la densidad real (95% de Tukey HSD).

Los valores de la densidad real presentan rangos similares en todos los tratamientos, debido a que este valor representa el peso del material sólido presente en cada tratamiento que fue similar en todos ellos, sin embargo es posible apreciar que los tratamientos testigo T1 y T4 encierran valores más altos que los demás tratamientos, debido a la adición de material en los demás tratamientos que altero el valor final de la densidad real.

3.1.7. Densidad Aparente.

El comportamiento de la densidad aparente a lo largo del tiempo es ascendente tal como se observa en la **Figura 18**, este comportamiento es similar en todos los tratamientos. Teniendo en cuenta que existen similitudes entre algunas parejas de tratamientos como lo son T1-T4, T5-T6 y T2-T3.

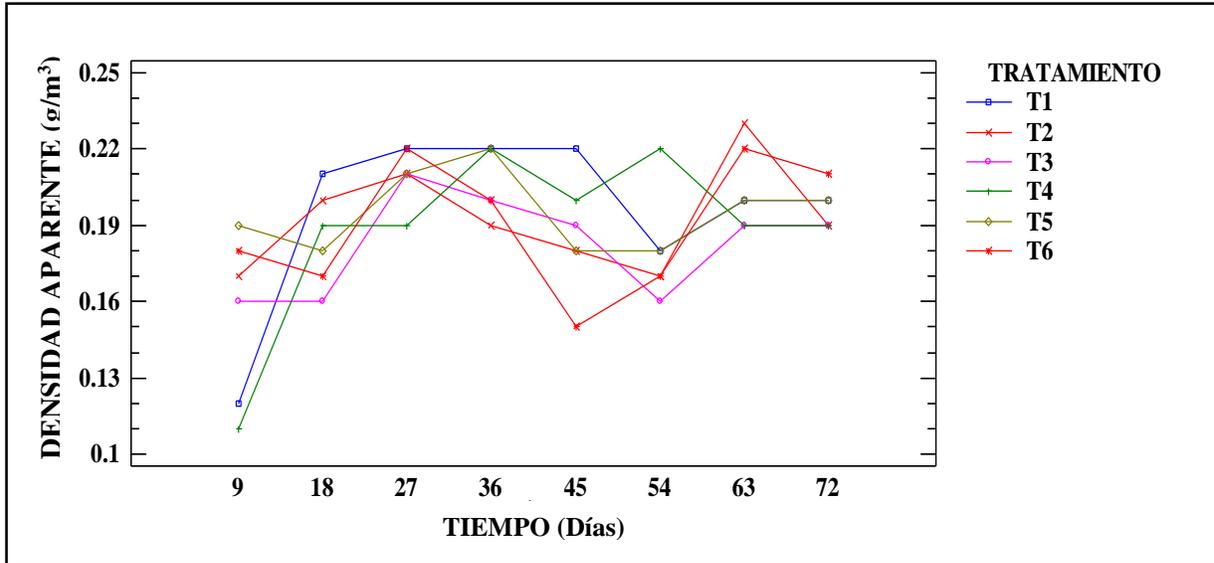


Figura 18. Comportamiento de la densidad aparente vs tiempo.

La variación de la densidad aparente durante todo el proceso de compostaje es mínima con un valor no mayor a $0.1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ de diferencia. La densidad aparente de los tratamientos testigos (T1 y T4) tienden a ser iguales durante los 72 días, por lo que es posible afirmar que el mucilago no influye en la densidad de un compost.

Los datos del análisis de varianza para la densidad aparente respecto a los factores tratamiento y tiempo, se muestran en la **Tabla 17**. Los valores de la columna “Valor-P” son mayores a **0.05** lo cual indica que no se presentó un efecto estadísticamente significativo entre los tratamientos evaluados con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 17. Análisis de varianza para la densidad aparente - Suma de cuadrados tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTO	0.000991667	5	0.000198333	1.00	0.5000
B:TOMA	0.0141667	7	0.00202381	1.00	0.5000
INTERACCIONES					
AB	0.0142083	35	0.000405952		
RESIDUOS	0	0			
TOTAL (CORREGIDO)	0.0293667	47			

La **Figura 19** da a conocer que todos los valores de las medias de la densidad aparente se encuentran en el mismo rango con los intervalos del método Tukey sin presentar diferencias significativas entre los tratamientos.

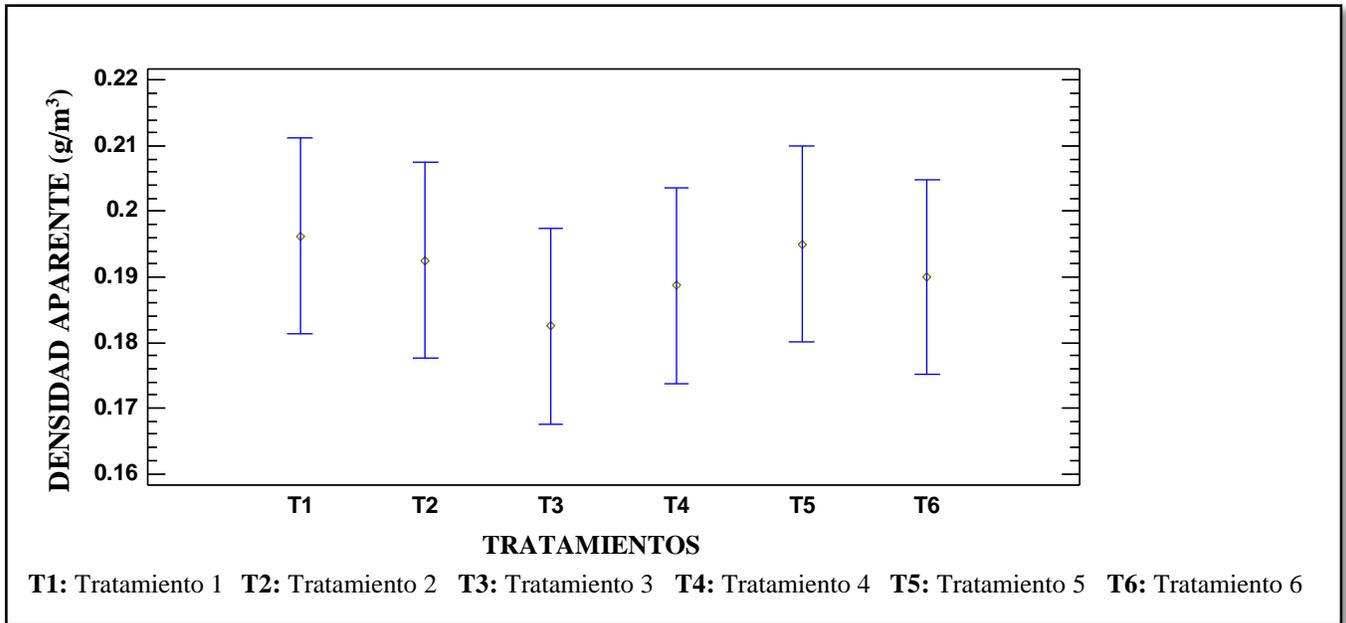


Figura 19. Medias estimadas por mínimos cuadrados para la densidad aparente (95% de Tukey HSD).

Los valores bajos de la densidad aparente en todos los tratamientos se deben a que hubo una adición de material que influye de forma directa en la humedad de la mezcla, la distribución de sus partículas, su contenido de materia orgánica y su grado de descomposición (Gordillo & Chávez, 2010).

3.1.8. Porosidad.

En la **Figura 20** se evalúa el comportamiento de la porosidad durante todo el proceso de compostaje, allí se observa que la variación de la porosidad fue mínima a lo largo del tiempo, sin embargo se tiene en cuenta que el comportamiento en los diferentes tratamientos fue descendente, dicho comportamiento se produce gracias a la actividad microbiana de cada compost; pues es mediante esta que la materia orgánica es consumida disminuyendo así el espacio existente entre las partículas sólidas.

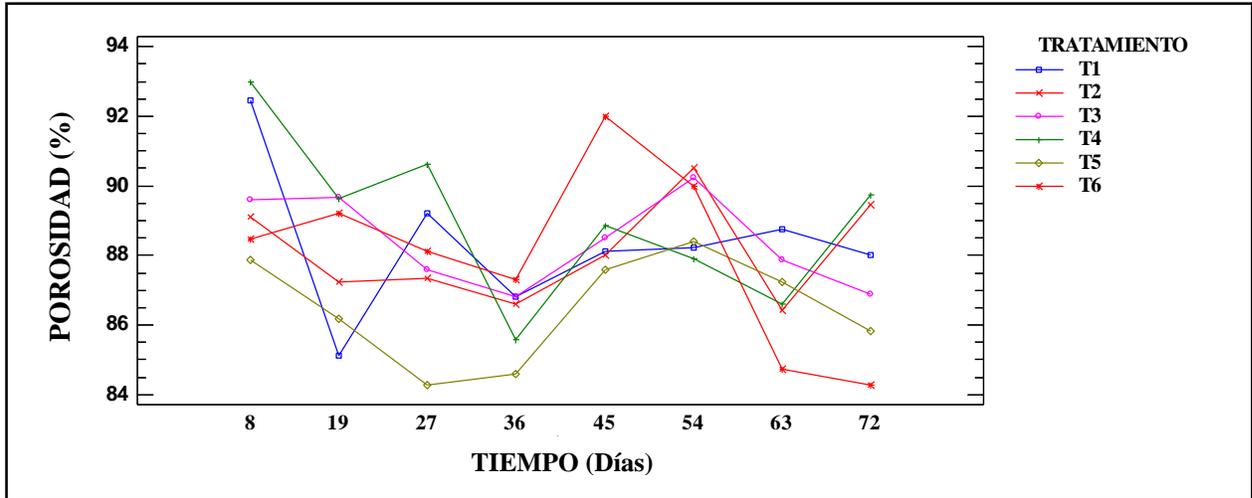


Figura 20. Comportamiento de la porosidad vs tiempo.

Basados en la **Figura 20** es posible afirmar que no existen diferencias significativas en la porosidad de cada uno de los tratamientos, aún más si se observa los valores de porosidad en el día 72 para todos los tratamientos cuya diferencia no es mayor al 6% entre los tratamientos.

Los datos del análisis de varianza para la porosidad respecto a los factores tratamiento y tiempo, se muestran en la **Tabla 18**. Los valores de la columna “Valor-P” son mayores a **0.05** lo cual indica que no se presentó un efecto estadísticamente significativo entre los tratamientos evaluados con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 18. Análisis de varianza para la porosidad- Suma de cuadrados tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTO	31.3761	5	6.27522	1.00	0.5000
B:TOMA	48.9705	7	6.99578	1.00	0.5000
INTERACCIONES					
AB	129.423	35	3.6978		
RESIDUOS	0	0			
TOTAL (CORREGIDO)	209.77	47			

Gráficamente se puede apreciar que las medias de los valores de cada tratamiento para el porcentaje de porosidad no presentan diferencias estadísticamente significativas (Ver **Figura 21**). Las medias de la porosidad están aproximadamente entre 87 y 89 %.

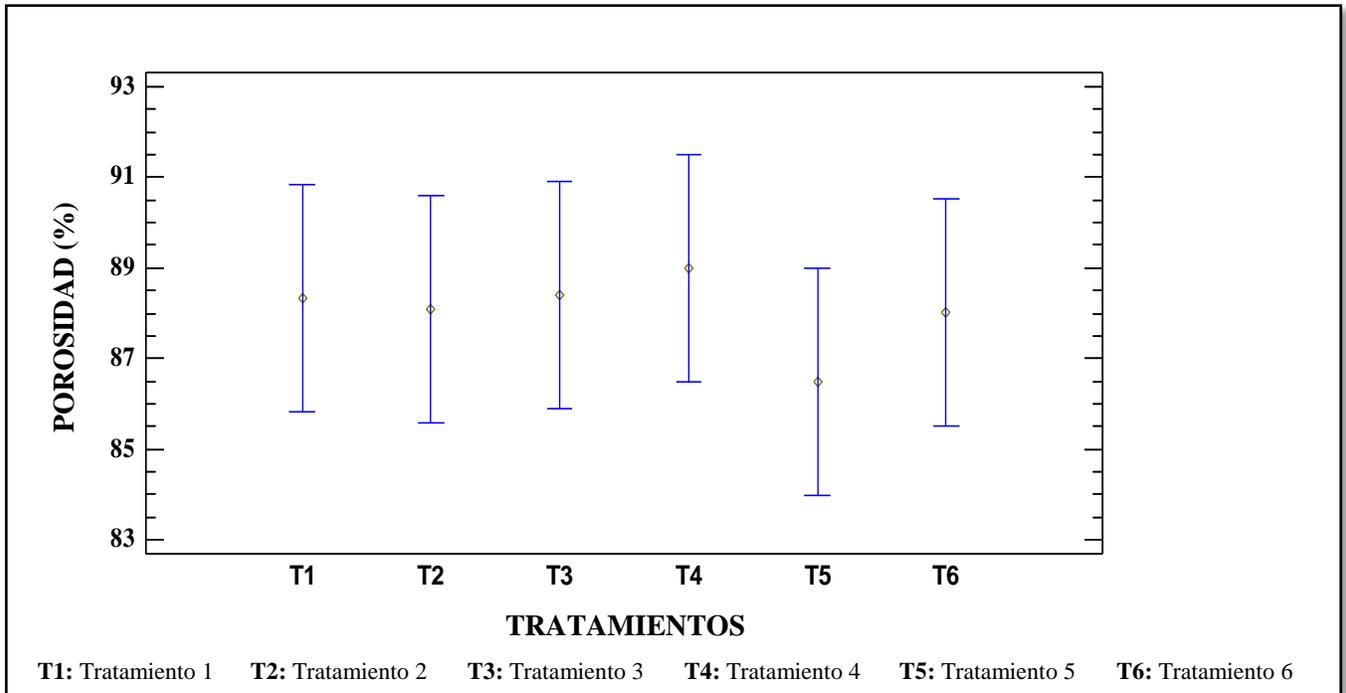


Figura 21. Medias estimadas por mínimos cuadrados para la porosidad (95% de Tukey HSD).

3.2. ESTABILIDAD DEL COMPOST

3.2.1. Estimación de CO₂: Incubación-Titulación

La estabilidad del compost se pretendía calcular con la estimación de CO₂ que es emitido por parte del compost, esta emisión hace referencia a la actividad microbiana existente, pues son los microorganismos los emisores de CO₂ en su metabolismo, es decir que dicha prueba es un indicador de la actividad microbiana existente. (Mora, 2006)

Al llevar a cabo esta prueba no se lograron obtener resultados favorables, pues al realizar el proceso de titulación que plantea (Ochoa & Urroz, 2011) no se obtuvo una reducción de pH ni un viraje fácilmente apreciable. Lo que llevó a realizar una revisión del método empleado con el fin de encontrar posibles fallas.

Una de las posibles causas que se detectó fue el no garantizar un cierre hermético para cada uno de los recipientes que contenían el compost, al no encontrarse cerrado herméticamente el recipiente, el compost pudo tener contacto directo con el ambiente y de igual manera los microorganismos presentes. Al existir un posible contacto con el ambiente el CO₂ se volatiliza reduciendo así la eficiencia del agente titulable y afectando de manera directa el proceso de titulación.

Con base en esto se realizó una revisión detallada del proceso de titulación, y se logró apreciar que el método planteado por (Mora, 2006) y (Ochoa & Urroz, 2011) está propuesto para un

suelo común, lo que podría generar cambios en esta prueba al aplicarla en un compost, puesto que el contenido de materia orgánica sería mayor en el compost que en un suelo común.

3.2.2. Carbono Orgánico Total ($\mu\text{gCO}_2\cdot\text{g}^{-1}$)

En la **Figura 22** se observa el comportamiento decreciente del carbono orgánico, presentando valores iniciales entre 38 y 64 $\mu\text{gCO}_2\cdot\text{g}^{-1}$ y con una diferencia de los tratamientos T1 y T4 los cuales presentan los más altos contenidos de carbono orgánico al iniciar el proceso de compostaje, pues son estos los que contienen 100% de pulpa de café. Al transcurrir el tiempo el comportamiento de los seis tratamientos tienden a reducir la diferencia entre sí, para finalmente quedar todos con una diferencia menor al 5% entre ellos.

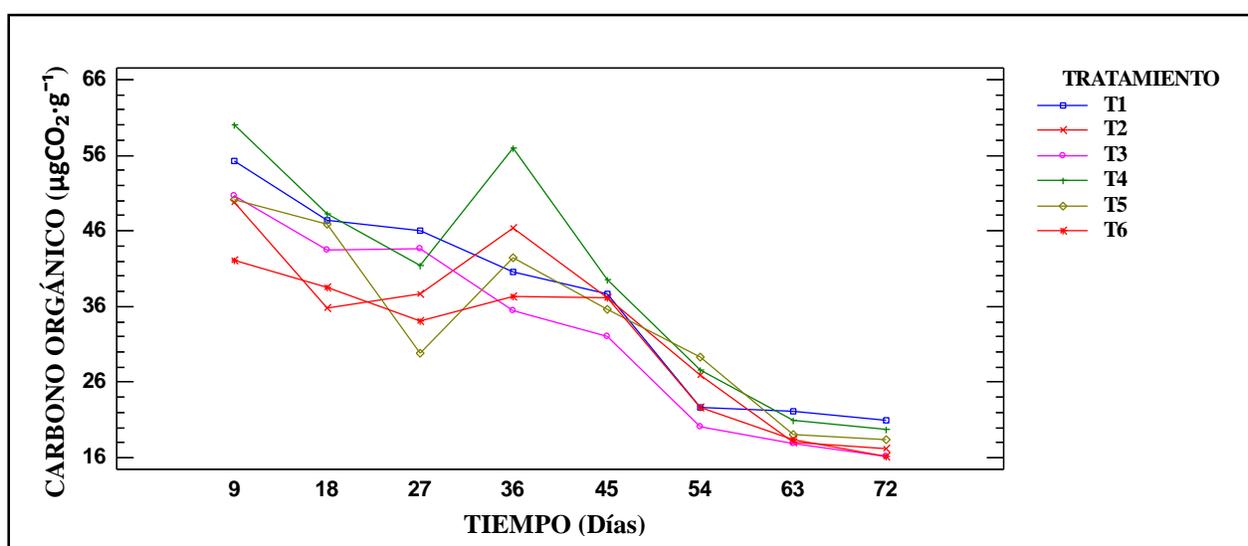


Figura 22. Comportamiento del contenido de carbono orgánico vs tiempo.

El comportamiento en el contenido de carbono orgánico de los tratamientos, presentan una diferencia promedio de 9.5% mayor en los tratamientos T1 y T4 en comparación a los demás al iniciar el proceso de compostaje, y una diferencia promedio mayor de 3.4% al alcanzar la maduración.

Los valores del carbono orgánico tienen un comportamiento similar al del contenido de materia orgánica en el compost, dado a que el principio básico del método de *Walkley y Black* utilizado para determinar carbono orgánico es la oxidación de la materia orgánica presente en la muestra (*USDA, 2011*). Lo que conlleva a afirmar que tanto la materia orgánica como el carbono orgánico, son parámetros que se reducen durante el proceso de compostaje en todos los tratamientos.

Es posible calcular el contenido de materia orgánica de una muestra a partir del cálculo del carbono orgánico; pero para ello, debe existir un factor de corrección puesto que la oxidación de materia orgánica no se realiza por completo.

Los datos del análisis de varianza para el carbono orgánico respecto a los factores tratamiento y tiempo, se muestran en la **Tabla 19**. Los valores de la columna “Valor-P” mayores a **0.05** indican que no se presentó un efecto estadísticamente significativo entre los tratamientos evaluados con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 19. Análisis de varianza para el carbono orgánico - Suma de cuadrados tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTO	742.322	5	148.464	4.38	2.E-03
B:TOMA	12575.3	7	1796.48	53.06	1.E-05
INTERACCIONES					
AB	1114.91	35	31.8546	0.94	0.5699
RESIDUOS	1625.2	48	33.8583		
TOTAL (CORREGIDO)	16057.8	95			

En la **Tabla 20** se identificaron 2 grupos homogéneos (A y B) según la alineación de las X's en columna “Grupos Homogéneos”. En donde se encontró que los únicos tratamientos que presentaron diferencias significativas entre ellos fueron (T3-T4 y T4-T6) con un nivel de confianza del **95.0%**.

Tabla 20. Pruebas de rangos múltiples para el carbono orgánico por tratamiento.

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

TRATAMIENTO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T6	16	30.8431	1.4547	A
T3	16	32.4206	1.4547	A
T2	16	33.6206	1.4547	AB
T5	16	33.9575	1.4547	AB
T1	16	36.5781	1.4547	AB
T4	16	39.3294	1.4547	B

En la **Figura 23** se observa por medio de las medias estimadas, que los tratamientos T1, T2, T4 y T5 no presentaron diferencias significativas entre ellos, pero estos tratamientos si presentaron diferencias con los tratamientos T3 y T6.

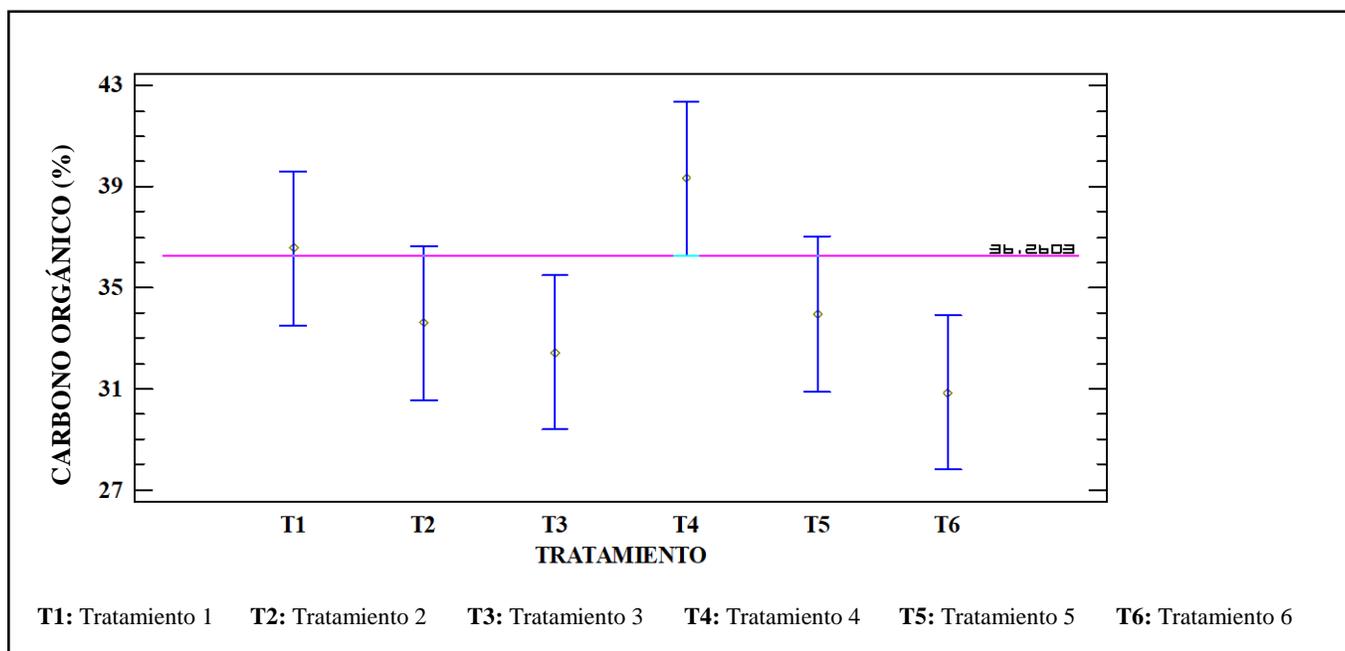


Figura 23. Medias estimadas por mínimos cuadrados para el contenido de carbono orgánico (95% de Tukey HSD).

3.2.3. Índice de Germinación.

La madurez de un compost determina el tiempo mínimo a compostar, dicha madurez va ligada a los índices fitotóxicos por parte del compost; los cuales afectan de manera directa el desarrollo radicular de las plantas, de igual manera podría afectar la germinación de las semillas. Es por ello que Zucconi, Pera, Forte & De Bertoldo (1981) plantean una prueba mediante la cual se evalúa la toxicidad del compost.

La **Figura 24** muestra el comportamiento del índice de germinación de los seis compost. En primer lugar se observa un comportamiento ascendente de este parámetro a lo largo del tiempo en todos los tratamientos, lo cual indica que todos los tratamientos tienden a madurar al transcurrir el tiempo. Este resultado es similar al obtenido por Vives, Lopez F. & Lopez M. (2011) donde afirman que el índice de germinación evoluciona con el tiempo.

Para alcanzar la estabilidad y madurez, el compost debe pasar por diferentes fases, que dependen del tiempo y temperatura alcanzada en el proceso de compostaje. Estas fases son: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración. Se tiene que para todos los tratamientos las fases fueron alcanzadas en los siguientes periodos de tiempo: la fase mesófila corresponde al periodo del 1 al 4 días, la fase termófila entre los 5 y 13 días, la fase de enfriamiento entre los 14 y 54 días y la maduración fue obtenida en el día 65 para todos los tratamientos. La FAO estipula que la fase mesófila se alcanza en el periodo del día 2 al 5, la fase termófila entre los 8 y 24 días, la fase de enfriamiento entre los 16 y 40 días y la maduración entre los 90 y 180 días, de esta manera se afirma que existe una reducción de 1 día en la fase mesófila, de 11 días en la fase termófila, el enfriamiento se retardo en 14 días sin embargo la maduración se logró en 25 días menos en comparación con lo estipulado por la FAO.

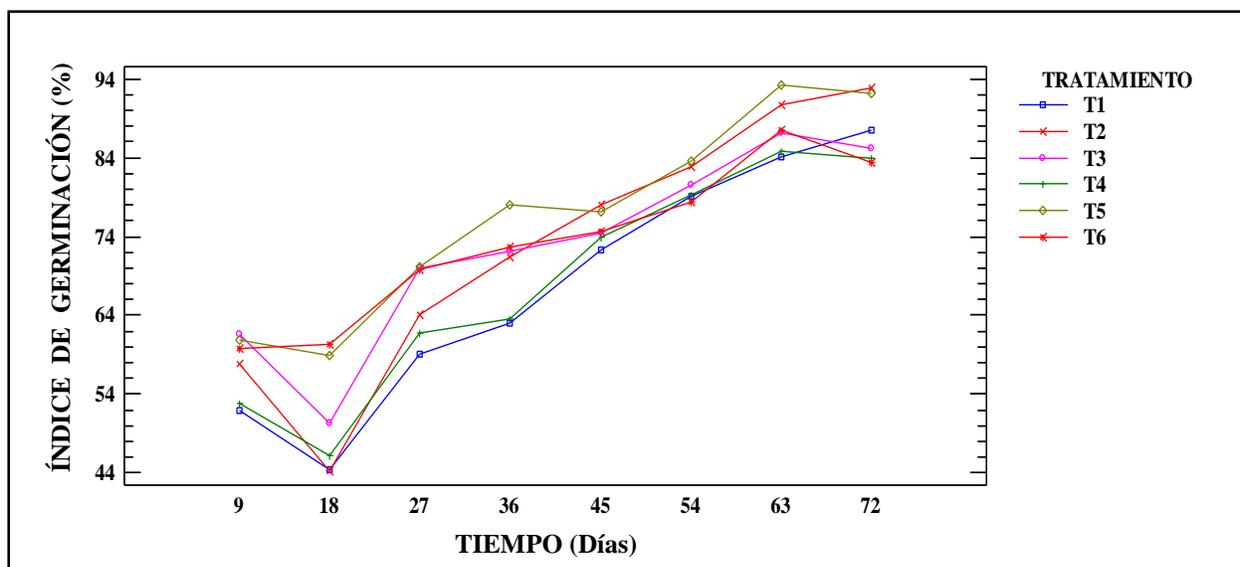


Figura 24. Comportamiento del índice de germinación vs tiempo.

Los tratamientos T1, T2 y T4 fueron los únicos en los primeros días de compostaje que presentaron valores menores al 50% de índice de germinación, lo que nos indica que los índices de fitotoxicidad de dichos tratamientos al iniciar su descomposición son muy altos y esto impide el desarrollo normal de las plantas (Eminio & Warman, 2004).

Se observa que en el día 54 los tratamientos T2, T3 y T5 obtienen un índice de germinación mayor al 80% que indican que los tratamientos ya han alcanzado su punto de madurez (Zucconi, Pera, Forte, & De Bertoldo, 1981) mientras que los tratamientos T1, T4 y T6 no han alcanzado su etapa de madurez lo que según Varnero, Rojas & Orellana (2007) significa

que estos tratamientos contienen sustancias fitotóxicas que no se han metabolizado completamente.

En el día 63 todos los tratamientos ya se encuentran en su punto de madurez puesto que su índice de germinación ya se encuentran con valores superiores a 80%, sin embargo se realiza una nueva prueba a los 72 días con el fin de validar este comportamiento y poder concluir que ya fue alcanzado el punto de madurez para todos los tratamientos sin índices de fitotoxicidad.

Se observa de igual manera en la **Figura 24** que los comportamientos de los tratamientos T1 y T4 son muy similares y presentan valores cercanos entre sí, se tienen en cuenta que dichos tratamientos son 100% pulpa de café y la única diferencia entre sí es la adición del mucilago de café en el tratamiento 4, por esta razón se puede afirmar que el mucilago no presenta alteración en los índices de fitotoxicidad del compost.

Los datos del análisis de varianza para el índice de germinación respecto a los factores tratamiento y tiempo, se muestran en la **Tabla 21**. Los valores de la columna “Valor-P” son mayores a **0.05** lo cual indica que no se presentó un efecto estadísticamente significativo entre los tratamientos evaluados con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 21. Análisis de varianza para el índice de germinación - Suma de cuadrados tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
EFFECTOS PRINCIPALES						
A:TRATAMIENTO	460.813	5	92.1627	1.00	0.5000	(1)
B:TOMA	7708.15	7	1101.16	1.00	0.5000	(2)
INTERACCIONES						
AB	362.601	35	10.36			
RESIDUOS	0	0				
TOTAL (CORREGIDO)	8531.57	47				

Gráficamente se puede observar que todos los intervalos se traslaparán, es decir que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Ver **Figura 25**).

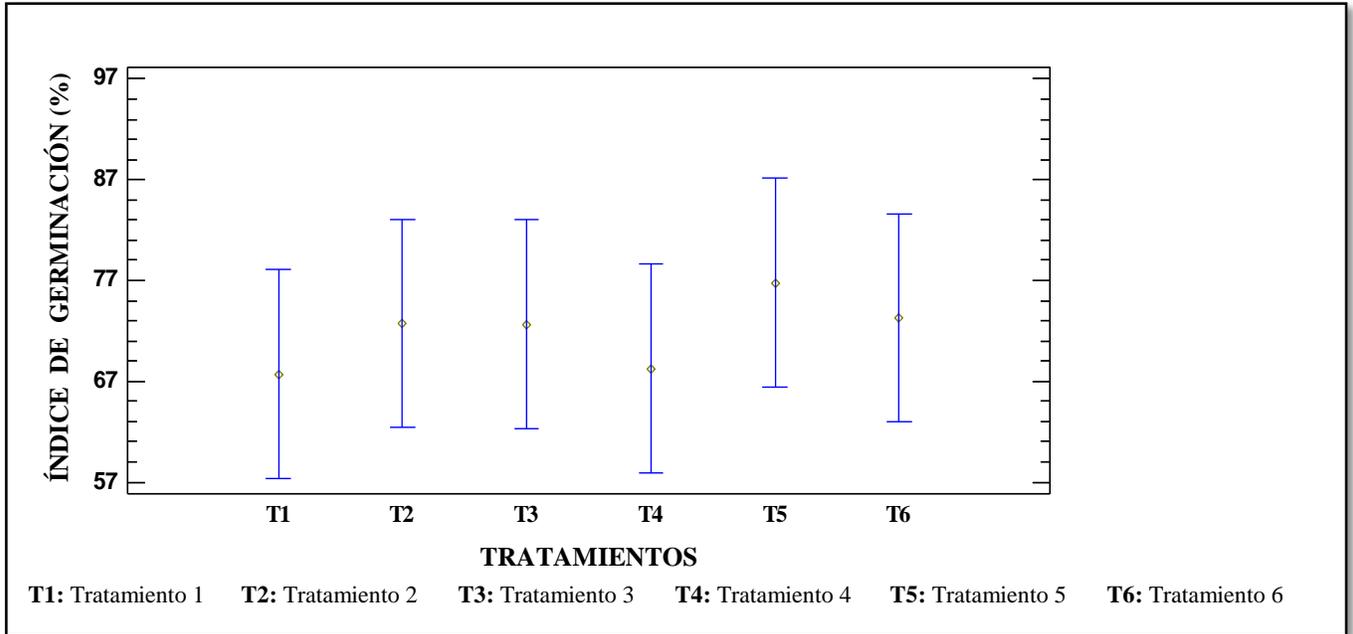


Figura 25. Grafica de medias estimado por mínimos cuadrados para el índice de germinación (95% de Tukey HSD).

Aunque en la **Figura 24** se observan diferencias en los valores de cada tratamiento, estadísticamente se afirma que esta diferencia de valores no es suficiente para indicar que existen diferencias significativas entre ellos, se tiene en cuenta que el comportamiento es similar para todos los tratamientos en donde al iniciar la el proceso de compostaje presentan índices de fitotoxicidad altos y a medida que transcurre el tiempo se van reduciendo hasta llegar a la madurez.

3.2.4. Granulometría

Es de esperarse que la cantidad de compost retenido en cada uno de los tamices varíe, pues esta variación va sujeta al tamaño inicial de las partículas que componen la masa a compostar (Ver **Figura 26**). Al ser diferentes las cantidades y componentes en cada tratamiento se obtiene como resultado la diferencia entre tamaño de partícula en cada uno de ellos. Cuanto mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano por unidad de masa, más rápida y completa será el proceso de degradación (Márquez et al., 2010).

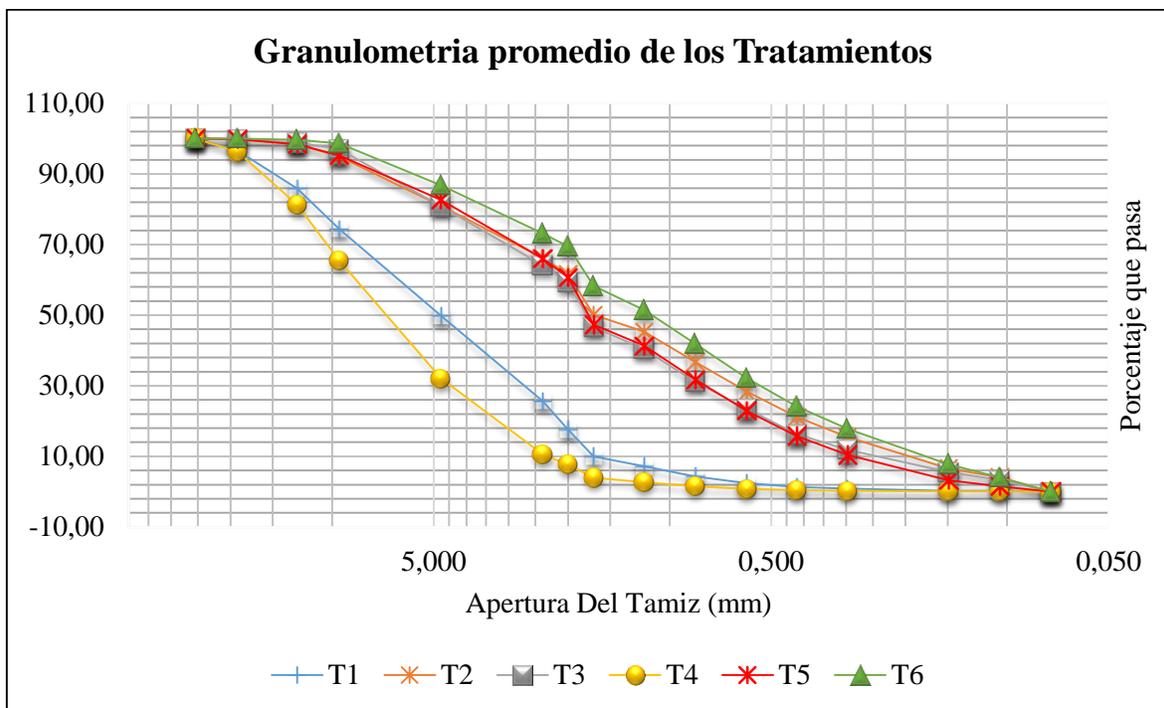


Figura 26. Granulometría de los compost obtenidos.

El tamaño de partícula inicial determina el tamaño de partícula final en un tiempo determinado, esto quiere decir que al compostar tratamientos con un tamaño de partícula considerable, es de esperarse que el proceso de degradación tarde más tiempo que un tratamiento con tamaño de partícula menor. En la gráfica se observa que los tratamientos testigo (T1 y T4) presentaron un menor porcentaje de partícula que paso por el tamiz más pequeño, esto debido a que poseen un mayor tamaño de partícula comparado con los demás tratamientos, como respuesta a la baja descomposición en materia orgánica al tener 100% pulpa de café. Por otra parte, se observa que los tratamientos cuyos elementos incluían cierta cantidad de estiércol vacuno lograron pasar por el tamiz más pequeño, una mayor cantidad de partículas debido a que este posee una cantidad significativa de flora bacteriana así como de nitrógeno (N), factores indispensables para la descomposición de la materia orgánica (Pierre et al., 2009).

3.3. CALIDAD DEL COMPOST OBTENIDO.

Para evaluar la calidad del compost producido en los diferentes tratamientos se compararon los resultados obtenidos (**Tabla 22**) con El Manual de Compostaje del Agricultor propuesto por la FAO (2013) y los parámetros a garantizar de la Norma Técnica Colombiana NTC-5167, en donde se sugiere que la temperatura del compost debe ser igual a la del ambiente. Los valores finales de temperatura de todos los tratamientos cumplen con lo establecido anteriormente. El contenido de humedad en todos los tratamientos se considera alto, teniendo en cuenta los rangos permisibles (30% y 40%) según la NTC-5167, dentro de este rango

encontramos los tratamientos T2, T3 y T6, mientras que los valores de los tratamientos T1, T4 y T5 están por fuera de dicho rango, dos de ellos representan los tratamientos testigo y el siguiente representa uno de los tratamientos con estiércol vacuno, las razones que llevo a interpretar estos valores altos en el contenido de humedad a diferencia de los otros, recae en que los valores iniciales de dichos tratamientos (T1 y T4) fueron más altos, por ende en su proceso los rangos siempre tendieron a estar por encima de los demás, en el caso del tratamiento T5 durante la etapa mesófito (45 días), tuvo un cambio en la tendencia que elevo los valores del contenido de humedad como respuesta algún agente externo que no permitió mantener las condiciones adecuadas para que la humedad se mantuviera en el rango óptimo, a pesar de que este la sobre paso por un valor mínimo. El contenido de materia orgánica debe tener valores superiores al 20%; todos los tratamientos presentan un valor superior del 50% lo que indica que los valores del contenido de materia orgánica de los tratamientos se ajustan a la NTC-5167. Respecto al pH, los tratamientos T1 y T4 presentan valores de 8.9 siendo los más altos y el tratamiento T2 con un valor de 8.5 siendo el más bajo; sin embargo se encuentran dentro del rango permisible por la NTC 5167. La densidad aparente no debe superar $0.6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; todos los tratamientos se encuentran en valores cercanos a $0.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ asumiendo así que todos los tratamientos poseen una densidad aceptada por la NTC-5167. El Contenido de Carbono orgánico oxidable de todos los tratamientos se encuentra con valores superiores al 15% cumpliendo así el límite mínimo permisible.

En la **Tabla 22** se relacionan los valores finales de cada parámetro evaluado en cada compost, entre los que esta: Temperatura interna (TI), contenido de humedad (%H), solidos totales (%ST), materia orgánica (%MO), pH (pH), densidad real (DR), densidad aparente (DA), porosidad (%POR), índice de germinación (%IG) y carbono orgánico (CO).

Tabla 22. Parámetros finales de cada compost.

TRATAMIENTO	PARAMETROS									
	TI	% H	% ST	% MO	pH	DR	DA	% POR	%IG	CO
T1	29.5	50.3	49.6	59.7	8.9	1.67	0.20	88.0	87.5	20.9
T2	30.1	37.7	62.2	54.7	8.5	1.82	0.19	89.4	92.8	17.2
T3	30.0	37.2	62.8	55.4	8.8	1.43	0.19	86.8	85.2	16.1
T4	29.7	56.6	43.3	59.4	8.9	1.82	0.19	89.7	83.9	19.8
T5	29.7	43.7	56.2	51.9	8.6	1.43	0.20	85.8	92.2	18.3
T6	30.2	38.7	61.2	53.0	8.6	1.33	0.21	84.2	83.3	16.2

Todos los tratamientos se encuentran dentro de los límites permisibles a diferencia de los tratamientos T1, T4 y T5 en su contenido de humedad que supera el 50%; sin embargo el tratamiento que presento mejores condiciones de calidad fue el tratamiento T5 que se resalta por tener un buen índice de germinación y pH moderadamente alcalino, ajustándose a los valores permitidos por los marcos de referencia.

4. CONCLUSIONES

- El método de tambor rotatorio se valida como un método efectivo para la obtención de compost dado a que los tratamientos evaluados alcanzaron su madurez en un periodo menor al planteado por la FAO el cual corresponde a un total de 72 días, los tratamientos (T2, T3 y T5) alcanzaron su madurez en 54 días, y los tratamientos (T1, T4 y T6) en 63 días. Estas diferencias en el tiempo de maduración del compost para cada tratamiento y en la evaluación de cada variable durante el proceso, se debe a la influencia directa de los componentes utilizados y las cantidades de los mismos en cada tratamiento que pueden acelerar o retardar el tiempo de maduración de acuerdo a las características del mismo, tal es el caso de los tratamientos que incluían el estiércol vacuno, que gracias a las características bacterianas presentadas, ocuparon un tiempo menor de maduración.
- El mucilago y el estiércol vacuno son factores determinantes en el contenido de humedad del compost. Los tratamientos (T2 y T5) cuyos componentes incluían el estiércol vacuno y cuya diferencia radicaba en la adición de mucilago, presentaron una influencia directa en las características físico-químicas del compost de los otros tratamientos especialmente en el contenido de humedad, se encontró que para los tratamientos sin mucilago al iniciar el proceso de compostaje los valores de humedad oscilaron entre los 44% y 74% y los tratamientos con mucilago entre los 45% y 75%, en cuanto a la madurez se obtuvo valores entre los 33% y 52% para los tratamientos sin mucilago y 37% y 59% para los tratamientos con mucilago.
- Los parámetros de temperatura, pH, densidad, porosidad, solidos totales, materia orgánica, índice de germinación, y carbono orgánico, evaluados al final del proceso de compostaje para cada tratamiento, se encontraron dentro de los rangos permitidos por la norma NTC-5167. El factor humedad presento valores por encima de estos en los tratamientos testigo (T1 y T4) debido a que inicialmente presentaron valores más altos de humedad comparado con los demás tratamientos evaluados.
- Los tratamientos testigo (T1 y T4) obtuvieron valores más altos de carbono orgánico y materia orgánica, esto debido a la cantidad de pulpa de café utilizada al iniciar el proceso de compostaje a comparación de los otros tratamientos que incluían otros elementos para su descomposición. Esta pulpa de café provoco un valor mayor de materia orgánica y carbono orgánico al finalizar el proceso debido a que su composición presentaba gran cantidad de material orgánico y nutrientes que fueron utilizados durante el proceso.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir investigando en la estandarización del método de *Estimación de CO₂: Incubación-Titulación*, para lograr ejecutar un método asimilable para un compost, teniendo en cuenta la manera de ejecución de (Sanchez , et al., 2013)
- Se recomienda que el lugar donde se instalen las composteras esté cubierto y protegido de la precipitación directa con el fin de evitar cambios drásticos en el contenido de humedad y la temperatura del compost.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Anacafé. (2013). *Abonos orgánicos*. Recuperado el 20 de Febrero de 2017, de www.anacafe.org:
https://www.anacafe.org/glifos/index.php/CaficulturaOrganica_Abonos
- Anacafe. (2015). *¿Qué hacer con la pulpa de café?* Recuperado el 15 de Enero de 2015, de Asociación Nacional del Café ANACAFE:
https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Usos_pulpa_de_cafe
- Aranda, E. (1991). El vermicompostaje: una nueva alternativa para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico. *Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria cafetalera*. Manizales - Colombia.
- Blandón, G., Dávila, M. & Rodríguez, N. (1999). *Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje*. Caldas: cenicafe.
- Bressani. (1976). *Utilización de desechos de café en alimentación de animales y materia prima industrial*. San Salvador, El Salvador: En: Exposición Pecuaria del Istmo Centroamericano (EXPICA) '76. 3-8 de mayo de 1976.
- Callejas, A. M. (2008). *Estudio del compostaje aeróbico como alternativa para la estabilización de lodos procedentes de una planta de tratamiento de aguas servidas de la Región del Bío Bío*. Tesis para optar al grado académico de Magister en Ciencias de Recursos Naturales. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile, p101.
- Castaño , G., Davila, M. T., & Rodriguez , N. (1999). Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje. *Cenicafé* 50, 5-23.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café- CENICAFÉ (2015). *Beneficio del Café en Colombia*. Chinchiná, Caldas.
- Cerejijo, D., Fierro, J., Villar, I., Rodriguez-Abalde, A., Mato, S., Domínguez, M., & Patiño, J. (2007). *Estudio comparativo sobre la aptitud para el compostaje de la fracción orgánica de RSU separada en origen y la recuperada por separación mecánica a partir de la fracción inerte*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2014, de <http://webs.uvigo.es/smato/pubs/427.pdf>.
- Eminio, E. R., & Warman, P. R. (2004). Biological assay for compost quality. *Compost Sci Ed.* 12, 342-348.
- Escuela de Geociencias. (2015). *Metodología física*. Recuperado el 14 de Enero de 2015, de Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.:
http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/metodologia_fisica.html

- Federación Nacional de Cafeteros. (2016). Bien aprovechada, la pulpa del café deja de ser un desperdicio. *PERGAMINO Información y gestión de negocios para empresarios cafeteros*. Recuperado el 02 de 10 de 2017, de https://www.federaciondefcafeteros.org/pergamino-fnc/index.php/comments/bien_aprovechada_la_pulpa_del_cafe_deja_de_ser_un_de_sperdicio
- Fundación para el Desarrollo Socio Economico y Restauración Ambiental- FUNDESYRAM. (2014). *Biblioteca Agroecología Fundesyram*. Recuperado el 20 de Febrero de 2017, de <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=1057>
- Gasca, C.A. (2010). *Cambio en el PSI y la RAS de un suelo y su influencia en la actividad biológica y la biomasa microbiana*. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en ciencias agropecuarias línea de investigación en suelos. Universidad Nacional de Colombia. Pp 66, Palmira, Colombia.
- Girón, J. (2015). *Usos de la pulpa de café*. Recuperado el 15 de Enero de 2015, de https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Usos_pulpa_de_cafe
- Gordillo, F., & Chavez, E. (2010). *Evaluacion comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros*. Escuela Superior Politecnica del Litoral Centro de Investigacion Cientifica y Tecnologica. Guayaquil, Ecuador.
- INIA , L. (15 de 1 de 2015). *Formulario de recepcion de muestras de compost*. Obtenido de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/formularios/quilamapu/Formulario%20de%20Recepcion%20Muestras%20de%20Compost.pdf>
- Márquez, P., Díaz Blanco, M. J., & Cabrera, F. (2010). *Factores que afectan al proceso de Compostaje*. Huelva, España: Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Química Orgánica. Universidad de Huelva. Facultad de.
- Montero, M. (1992). *Producción de abono orgánico de pulpa de café*. Recuperado el 15 de Enero de 2015, de CICAFFE (Centro de investigaciones del café), ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica): http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-04772007000200004&script=sci_arttext
- MONTILLA, J. (2008). *Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional*. Universidad de Caldas: Cenicafé.
- Mora, J. R. (2006). La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. *Luna Azul*, 6.
- Moreno, N., & Romero, A. (2016). *Evaluación de diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras*. Manizales, Colombia:

Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

- Navarro, R. (6 de Diciembre de 2014). Obtenido de CESTA Amigos de la tierra: <http://latinamericacaribbean.recpnet.org/uploads/resource/cc1bd87a29c857c262b2655a94510754.pdf>
- Ochoa, C., & Urroz. (2011). *Determinación de los indicadores biológicos de suelos agrícolas*. Leon, Nicaragua: universidad nacional autonoma de nicaragua.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura- UNESCO. (13 de Septiembre de 2015). Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de <https://en.unesco.org/themes/water-security>
- Pierre, F., Rosell, M., Quiroz, A., & Granda, Y. (2009). *Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en caspito municipio andrés Eloy blanco, estado Lara, Venezuela*. Estado Lara, Venezuela: Bioagro v.21 n.2 Barquisimeto ago. 2009.
- Roa, C., Oliveros, C., & Álvarez, J. (1999). *Beneficio Ecológico del café*. Chinchiná, Colombia: CANICAFÉ.
- Rodríguez, N. (2000). *Manejo de residuos en la agroindustria cafetera*. Asistencia de Investigación, CENICAFE.
- Rodriguez, V., Zambrano, F., & Ramírez, G. (2013). *Manejo y disposición de los subproductos y de las aguas residuales del beneficio del café*. Chinchina: Manual de cafeteros colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. CENICAFE 3 Vols.
- Sadzawka, A., Carrasco, M. A., Grez, R., & Mora, M. L. (2005). *Métodos de análisis de compost*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación de La Platina. Chile.
- Sanchez , A., Millan , F., Prato , J. G., Uzcategui, J., Prada, M., & Carrero , P. (2013). *Caracterización físico química de materiales compostados a partir de residuos vegetales de los mercados municipales de la ciudad de mérida* . Merida, Venezuela.
- Suárez de Castro, F. (1960). *Valor de la pulpa del café como abono*. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. Santa Tecla, El Salvador.
- Torrente, A. (2014). *Manual de laboratorio Análisis físico del suelo*. Laboratorio de suelos de la Universidad Surcolombiana de Neiva. Pp 39-45. Neiva, Colombia.
- Torres, C. (2012). *Uso de pulpa de café en la elaboración de abonos para incrementar la productividad de café*. Caserío de Mashuyacu, Perú.

- Tortosa, G. (5 de Marzo de 2015). *Compostaje en tambor rotatorio*. Recuperado el 31 de Octubre de 2017, de Compostando Ciencia LAB: <http://www.compostandociencia.com/2015/03/compostaje-en-tambor-rotatorio/>
- Tortosa, G. (10 de Febrero de 2015). *Sistema de compostaje*. Recuperado el 31 de Octubre de 2017, de Compostando Ciencia LAB: <http://www.compostandociencia.com/2015/02/sistemas-de-compostaje/>
- USDA. (2011). *Soil Survey Laboratory Information Manual* . Lincoln, Nebraska: Methods manual. Soil Survey Investigations Report No. 45. Version 2.0. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center.
- Varnero , M. T., Rojas, C., & Orellana, R. (2007). *Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje*. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Ingeniería y Suelos.
- Vives, I., Lopez Fabal, & Lopez Mosquera. (2011). Evaluacion De La Fitotoxicidad De Un Sustrato a Base De Compost De Algas y Restos De Pescados. *Actas de Horticultura* 59, 28-31.
- Zucconi, F., Pera , A., Forte , M., & De Bertoldo, M. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. . *Biocycle*. 22, 54-57.

ANEXOS

1. Tabla de datos

Densidad aparente ($gr * cm^{-3}$)								
Tratamientos	Días							
	9	18	27	36	45	54	63	72
1	0.12	0.21	0.22	0.22	0.22	0.18	0.20	0.20
2	0.17	0.20	0.21	0.19	0.18	0.17	0.23	0.19
3	0.16	0.16	0.21	0.20	0.19	0.16	0.19	0.19
4	0.11	0.19	0.19	0.22	0.20	0.22	0.19	0.19
5	0.19	0.18	0.21	0.22	0.18	0.18	0.20	0.20
6	0.18	0.17	0.22	0.20	0.15	0.17	0.22	0.21

Densidad real ($gr * cm^{-3}$)								
Tratamientos	Días							
	9	18	27	36	45	54	63	72
1	1.54	1.43	2.00	1.67	1.82	1.54	1.82	1.67
2	1.54	1.54	1.67	1.43	1.54	1.82	1.67	1.82
3	1.54	1.54	1.67	1.54	1.67	1.67	1.54	1.43
4	1.54	1.82	2.00	1.54	1.82	1.82	1.43	1.82
5	1.54	1.33	1.33	1.43	1.43	1.54	1.54	1.43
6	1.05	1.54	1.82	1.54	1.82	1.67	1.43	1.33

Porosidad (%)								
Tratamientos	Días							
	9	18	27	36	45	54	63	72
1	92.45	85.10	89.20	86.80	88.12	88.21	88.74	88.02
2	89.09	87.22	87.35	86.60	88.02	90.53	86.43	89.47
3	89.61	89.67	87.59	86.82	88.51	90.22	87.88	86.88
4	92.98	89.64	90.63	85.57	88.85	87.90	86.60	89.75
5	87.88	86.17	84.26	84.60	87.59	88.41	87.22	85.81
6	83.26	89.21	88.12	87.29	91.99	89.98	84.74	84.26

Humedad (%)								
Tratamientos	Días							
	9	18	27	36	45	54	63	72
1	73.79	75.15	72.64	70.27	61.39	63.00	54.72	50.50
1	74.00	73.93	71.84	69.44	63.46	64.00	53.27	52.00
1	73.79	74.36	72.64	69.57	63.73	62.38	56.86	48.54
2	44.00	45.94	44.12	39.60	43.27	43.40	42.00	35.92
2	47.06	46.73	45.00	40.59	41.75	44.00	42.31	36.27
2	45.63	46.70	44.12	41.00	42.57	41.58	41.75	41.00
3	54.46	55.15	53.40	50.00	55.88	45.28	41.67	39.00
3	53.92	55.24	55.45	50.50	48.04	47.52	40.20	39.60
3	54.37	56.27	54.90	50.00	48.54	47.52	42.16	33.00
4	74.26	77.40	75.25	70.75	66.36	66.00	59.22	55.88
4	73.00	75.69	74.00	69.81	68.63	66.34	60.00	54.90
4	72.55	76.39	73.27	71.43	67.65	66.67	59.43	59.22
5	44.00	46.83	45.54	45.10	42.86	49.53	48.51	43.56
5	46.53	49.53	45.54	47.00	42.31	48.54	48.08	41.18
5	46.08	49.22	45.63	47.57	43.40	50.00	48.00	46.53
6	49.52	57.75	28.85	52.94	46.00	46.73	40.20	37.00
6	47.52	57.65	52.94	54.46	46.08	44.76	40.00	39.00
6	51.43	58.73	55.45	55.24	46.53	47.57	40.78	40.20

Sólidos totales (%)								
Tratamientos	Días							
	9	18	27	36	45	54	63	72
1	26.21	24.85	27.36	29.73	38.61	37.00	45.28	49.50
1	26.00	26.07	28.16	30.56	36.54	36.00	46.73	48.00
1	26.21	25.64	27.36	30.43	36.27	37.62	43.14	51.46
2	56.00	54.06	55.88	60.40	56.73	56.60	58.00	64.08
2	52.94	53.27	55.00	59.41	58.25	56.00	57.69	63.73
2	54.37	53.30	55.88	59.00	57.43	58.42	58.25	59.00
3	45.54	44.85	46.60	50.00	44.12	54.72	58.33	61.00
3	46.08	44.76	44.55	49.50	51.96	52.48	59.80	60.40
3	45.63	43.73	45.10	50.00	51.46	52.48	57.84	67.00
4	25.74	22.60	24.75	29.25	33.64	34.00	40.78	44.12
4	27.00	24.31	26.00	30.19	31.37	33.66	40.00	45.10
4	27.45	23.61	26.73	28.57	32.35	33.33	40.57	40.78
5	56.00	53.17	54.46	54.90	57.14	50.47	51.49	56.44
5	53.47	50.47	54.46	53.00	57.69	51.46	51.92	58.82
5	53.92	50.78	54.37	52.43	56.60	50.00	52.00	53.47
6	50.48	42.25	71.15	47.06	54.00	53.27	59.80	63.00
6	52.48	42.35	47.06	45.54	53.92	55.24	60.00	61.00
6	48.57	41.27	44.55	44.76	53.47	52.43	59.22	59.80

Materia orgánica (%)								
Tratamientos	Días							
	9	18	27	36	45	54	63	72
1	87.76	68.75	75.86	63.64	66.67	64.86	60.42	58.00
1	86.10	71.33	72.41	63.64	65.79	66.67	68.00	64.58
1	84.70	80.69	79.31	61.90	64.86	65.79	63.64	56.60
2	76.65	67.03	64.91	57.38	62.71	58.33	60.34	51.52
2	75.39	59.11	70.91	58.33	63.33	58.93	58.33	58.46
2	77.79	60.60	63.16	55.93	65.52	59.32	58.33	54.24
3	80.89	65.37	66.67	59.62	62.22	60.34	58.73	54.10
3	77.94	70.21	73.33	60.00	58.49	60.38	57.38	52.46
3	75.36	61.88	71.74	51.92	58.49	56.60	59.32	59.70
4	91.11	70.21	76.00	64.52	69.44	67.65	64.29	55.56
4	85.50	71.77	80.77	68.75	84.38	67.65	64.29	60.87
4	85.99	72.55	74.07	66.67	72.73	65.71	60.47	61.90
5	76.31	65.64	65.45	55.36	58.33	42.59	57.69	52.63
5	77.89	66.67	69.09	58.49	60.00	60.38	57.41	53.33
5	77.93	67.18	71.43	59.26	66.67	56.86	57.69	50.00
6	78.58	65.20	37.84	58.33	62.96	56.14	54.10	49.21
6	78.00	60.65	66.67	56.52	60.00	60.34	55.00	55.74
6	77.26	62.00	68.89	55.32	64.81	57.41	54.10	54.10

pH								
Tratamientos	Días							
	9	18	27	36	45	54	63	72
1	8.31	8.41	8.67	8.86	9.18	9.03	9.18	9.21
1	8.23	8.42	8.60	8.89	9.07	8.98	9.18	8.91
1	8.26	8.47	8.58	8.91	9.15	9.02	9.18	8.78
2	8.41	8.97	8.69	8.92	8.78	8.72	8.59	8.61
2	8.39	8.95	8.70	8.90	8.84	8.67	8.54	8.45
2	8.38	8.68	8.70	8.86	8.70	8.75	8.58	8.62
3	8.53	8.82	8.80	8.96	9.03	8.93	8.78	8.81
3	8.55	8.83	8.81	9.00	9.01	8.95	8.80	8.91
3	8.56	8.79	8.82	8.97	9.03	8.93	8.83	8.75
4	8.25	8.31	8.16	8.73	8.98	8.90	9.01	9.00
4	8.26	8.30	8.16	8.72	8.95	8.91	9.07	8.94
4	8.29	8.33	8.17	8.74	8.94	8.96	9.06	8.98
5	8.45	8.62	8.78	8.74	8.83	8.64	8.62	8.71
5	8.42	8.65	8.78	8.72	8.82	8.65	8.60	8.69
5	8.43	8.61	8.79	8.75	8.78	8.64	8.54	8.58
6	8.35	8.90	9.80	8.91	9.02	8.81	8.75	8.78
6	8.39	8.81	9.40	8.92	9.07	8.82	8.57	8.61
6	8.36	8.86	9.50	8.85	8.94	8.83	8.49	8.54

Índice de germinación (%)								
Tratamientos	Días							
	9	18	27	36	45	54	63	72
T1	51.99	44.46	59.13	63.04	72.25	79.15	84.20	87.57
T2	57.83	44.21	64.16	71.43	77.99	82.82	90.78	92.84
T3	61.50	50.23	69.96	72.13	74.42	80.46	87.14	85.27
T4	52.72	46.25	61.71	63.47	73.86	79.33	84.78	83.96
T5	60.91	58.93	70.12	77.95	77.06	83.64	93.23	92.25
T6	59.77	60.35	69.78	72.71	74.63	78.45	87.45	83.37

Días	Temperatura Superficial (°C)																	
	Tratamientos																	
	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6
1	28.8	28.2	28.1	34.3	33.3	31.3	29.9	32.2	30.3	32.2	32.8	32.6	36.2	36.3	36	31.5	31.8	30.2
2	37.1	36.6	37.3	34.1	32.3	31.5	37.1	36.1	37.1	36.3	36.1	35.7	38.2	41.4	37.2	38.4	37.6	38.8
3	38.3	38.9	37.8	34.3	32.2	31.3	36.5	37.1	34.5	35.5	36.5	33.3	35.8	34.2	33.1	33.1	34.8	37.7
4	31.3	31.6	28.9	27.7	26.3	27.1	28.8	29.3	28.1	30.6	30.8	27.9	28.6	28.8	28.3	27.1	29	27.8
5	34.8	35.3	33.3	34	34.1	32.4	30.4	31.4	30.7	33.3	34	32.3	32.7	34	32.4	32.1	32.2	30.8
6	34.2	36.1	33.3	35	36.1	33.3	35.1	38.2	31.1	33.9	34.4	32.4	36.2	44.6	34.6	33.9	33.6	29.5
7	34.3	36	31.8	33.8	34.3	34.2	32.3	34.7	30.7	29.4	32.4	30.1	33.4	33.7	32.8	29.9	33.4	30.6
8	30.5	32.2	30.4	30.6	30.9	29.9	33.3	33.8	31.3	28.3	31	29.3	30.9	31.2	30.8	30.3	31.4	29.9
9	35.5	36.8	35.3	35.5	36.5	36.8	38.1	39.8	35.8	36.8	38.4	35.2	38.3	37.3	36.1	33.2	31.8	33.3
10	31.1	30.5	30.8	31.4	31.8	31.1	30.8	31.2	30.1	31.4	32.5	30.6	30.5	30.4	30.2	30.6	31.9	30.3
11	29.1	28.8	26.4	29.1	29.5	27.2	30.1	30.5	28.1	27.5	28.8	26.5	28	28.9	26.6	28.2	28.1	26.2
12	31.9	32.8	28.8	33.4	33.8	32.6	30.3	30.7	29.8	30.3	30.7	29.8	30.4	31.2	29.8	28.7	30.2	27.8
13	31.7	32.8	30.1	31.4	32.6	30.1	29.2	31.1	30.1	29	29.1	29.1	30.2	30.4	29.7	27.1	28.4	29.3
14	31.7	33.4	31.8	35.3	35.1	33.6	35.3	35.2	34.6	33.4	35	32.6	32.8	34.7	32.8	30.9	33.2	30.6
15	27.4	28.4	26.4	29.1	28.9	27.8	28.8	29.8	28.4	27.1	28.2	26.4	29	28.8	27.3	28.4	29.3	26.7
16	32.9	33.6	32.4	35.5	34.9	32.4	33.1	35.5	32	30	32.3	30.4	32.8	33.1	31.6	29.7	30.6	28.8
17	30.4	35	28.7	33.6	33.8	30.8	31.3	32.8	30	29.3	31.3	29.1	32.9	32.1	30.1	29.4	28.9	27.4
18	30.5	31.2	27.8	31.6	37.4	31.7	32.3	32.6	30.3	30.5	32.3	29.5	31.1	32.6	30	29	30.3	27.5
19	28.9	30.1	28.6	31.1	31.8	28.1	30.5	30.7	29.1	28.4	29.6	27.6	31.5	32.3	30.6	30.3	31.1	29.1
20	29.4	30.4	29.8	29.8	29.9	29.1	30.8	31.8	29	29.7	29.4	28.3	29.3	29.6	28.7	28.9	30.6	29.8
21	28.9	29.4	29.4	29.9	30.4	30.2	29	30.1	30	29.2	29.6	29	29.9	29.4	29.7	29.8	30.7	29.7
22	26.8	26.7	26.1	27.1	27.4	26.2	27.4	27.4	26.4	26.8	27.5	26	27.1	27.4	25.8	27.8	27.6	26.7
23	31.1	32.4	29.8	33.1	34.8	31.7	35.1	34.1	34.6	32	32	31.4	31.5	32.1	31.8	32.1	31.3	30.8
24	29.3	28.3	29.1	29.1	30.4	29.4	30.3	30.1	29.6	29.7	29.9	29.1	29.5	29.8	28.5	30.4	30.7	30.2
25	32.1	32.2	32.1	29.2	29.3	29	28.1	29.1	27.9	29.4	29.4	28.7	27.3	27.6	27.1	27.6	28.1	27.5
26	33.2	33.1	32.1	33.5	33.8	33	34.1	33.3	34.1	33.4	33.8	34.1	33.3	34	32.6	33.3	34.7	32.1
27	33.8	32.9	32.7	32.9	33.5	33.1	32.8	33.2	32.1	32.3	32.2	32.8	32.2	33.4	31.8	33.6	33.4	32.4
28	30.7	31	30.2	32.1	32.4	29.8	33	33.1	31.1	30.5	31.3	30.5	32	31.9	30.4	31.4	31.5	30.4

29	29.4	29.7	29.4	32.2	32.4	32.4	32.8	32.9	32.9	30.7	30.3	30.6	32.3	32.8	32.6	33	33.5	32.7
30	29.1	29.6	28.9	30.3	30	29.1	30.6	30.9	30	29.1	29.7	29	30.3	30.8	29.2	30.4	30.4	29.3
31	32.8	33	32.4	31.1	33.6	31.7	31.5	33.3	33.2	31.4	31.8	32.3	33.1	33	32	32.4	33.2	32.7
32	28.8	28.8	28.1	28.4	29.4	28.3	29.5	29.6	28.9	28.5	28.6	28.8	29.1	29.4	29.4	28.8	29.1	28.8
33	29.3	29.3	28.6	28.4	28.4	27.8	29.5	29.4	28.8	29.2	29.5	28.1	28.6	28.5	27.9	29.4	29.4	28.6
34	32.4	32.1	31.7	32.9	32.1	32.6	33.4	35.8	33.1	31.2	31.6	30.6	32.6	32.8	31.3	31.5	32.5	31.5
35	29.2	28.2	28.1	29.3	29.4	29.5	31.2	31.3	30.8	28.1	27.1	27.2	29.3	29.1	29.2	29.5	29.3	29.5
36	28	27.9	28	30.9	30.1	29.4	29.6	28.7	28.8	28.6	28.6	28.4	29.4	29.6	27.7	29.5	29.3	28.1
37	28	27.9	28	30.9	30.1	29.4	29.6	28.7	28.8	28.6	28.6	28.4	29.4	29.6	27.7	29.5	29.3	28.1
38	27.4	27.9	27.8	28.4	28	28.1	28.3	28.3	27.8	27.2	27.3	27.4	28	28	27.4	27.4	27.5	28
39	28.2	28.1	28.4	28.4	28.6	27.9	28.6	28.1	28.2	27.4	28.2	28	28.1	27.6	27.4	28.3	27.3	26.8
40	31.9	31.8	31	31.5	32.2	31.5	31.8	32.3	31.6	30.1	30.2	29.9	31.1	31	30.4	31.1	31.4	30.2
41	31.4	31	31.2	32.7	32.5	32.7	33.6	33.1	32.8	33.1	33	32.8	32.6	32.9	31.6	31.3	32.2	32
42	28.1	28	26.3	28.7	28.7	27.8	27.4	27.7	26.8	26.4	27.1	26.2	26.3	26.4	26.3	27.4	27.5	27.1
43	29.7	30.3	29.2	29.5	30.4	29.3	30.4	30.1	28.9	28	29.6	28.2	29.5	29.9	28.4	29.6	29.8	28.1
44	30.8	30.6	29.6	31.5	29.6	29.1	31.4	31.3	29.7	30.3	30.4	29.8	29.9	30.1	29.3	30.2	30.6	30.4
45	27.9	27.9	27.9	28.4	28.3	27.9	28.2	28.3	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.6	27.9	27.8	27.9	27.3
46	30.2	30.5	30.4	30.1	30.2	29.2	30.4	31.1	30.8	29.8	29.9	30	29.4	29.5	29.1	29.6	29.3	29.1
47	29.6	30.1	29.9	30.2	30.1	31.4	31.5	31.2	31.4	29.5	29.5	29.3	29.6	29.2	29.1	29.9	30.1	30.1
48	31.9	32.3	31.3	30.1	30.5	28.6	29.3	28.8	28.7	30.9	31.9	29.3	29.7	29.6	28.1	30.3	30.4	29.4
49	30.4	31.3	30.8	32	31.8	31.4	31.5	31.4	31.4	30.1	30.3	29.7	29.6	29.4	29.1	29.8	30.1	29.4
50	28.8	28.9	28.8	28.9	28.5	28.1	28.9	28.9	28.3	28	28.2	27.9	27.4	28.7	27.4	28.2	28.7	28.1
51	28.8	28.8	27.8	28.8	28.8	28.6	29.6	29.6	28.8	27.5	28.2	28.3	28.9	28.7	28.1	28.6	29.1	29.3
52	27.1	27.2	27.9	27.8	28.1	27.9	27.9	28.1	28	27.8	28.1	27.8	27.9	28	27.9	27.9	28.2	28.1
53	28.5	28.5	28.2	28.4	28.4	27.7	28.7	28.8	27.9	28.6	28.6	27.9	28.1	28.4	27.4	27.4	27.8	27.5
54	28.9	29.9	28.6	29.6	29.4	28.7	29.6	29.8	28.7	29	29.1	28.3	28.8	28.4	28.4	30.1	29.9	29
55	27.7	28.2	27.5	28	28	27.9	28.6	28.9	28.1	28.3	28.1	27.9	27.8	27.4	27.6	28.4	28.3	27.8
56	28.1	28.3	28.1	29.3	29.4	28.7	29.1	29.1	28.6	27.6	27.6	27.6	27.3	28.1	27.8	28.1	28.3	27.3
57	28.8	28.8	28.6	28.6	28.4	28.6	29.5	29.6	29.3	29.1	29.3	28.4	28.8	29.1	28.4	30	30.4	29.8
58	29.9	29.5	28.8	30.3	30.8	29	30.2	31.2	30.4	29.5	29.1	27.4	27.4	27.5	27.1	28.4	28	27.8
59	29.3	29.6	29.8	29.8	29.6	29.2	30.1	30.3	30.4	28.9	29.1	29.2	29.8	29.6	29.2	30	29.9	30.1
60	27.3	27.6	27.4	27.4	27.6	27.2	27.9	28.1	27.8	27.5	27.8	27.6	27.6	27.8	27.3	28.6	28.1	28.4
61	26.7	26.8	26.9	26.3	26.3	25.6	26.4	26.5	26.1	26.9	26.9	26.7	27.3	27.3	27.2	27.6	27.7	26.8
62	30	30.8	29.9	30.4	29.8	29.9	29.7	29.9	30.1	29.5	29.9	30.1	29.6	29.2	29.6	29.8	30.2	30.3
63	33.3	33.3	33.4	33	33.7	33.6	34.3	34.1	34.2	32.3	32.6	32.3	31.8	31.9	31.9	33.1	33.3	33
64	28.1	28.5	28.6	27.9	27.9	27.9	28.8	28.8	28.8	28.3	27.8	28.1	27.8	27.9	27.5	28.9	28.7	28.8
65	28.5	28.9	28.3	28	28.2	28.2	28.1	28.2	28.3	28.7	29.1	29.3	29.6	29.3	29.4	29.3	29.3	29.3
66	28.3	28.5	28.4	29.1	28.8	28.9	28.4	28.9	29.2	28.9	28.8	28.7	29.6	29.4	29.4	29.8	29.9	29.8
67	29.4	29.6	28.4	28.6	28.4	28.4	28	28.8	28.8	28.3	29	28.9	29	28.8	28.3	28.8	28.8	28.1
68	29.8	29.9	29.6	30.8	31.3	31.6	31.8	31.5	32	29.9	30	30.1	31.4	31.5	31.1	31.5	31.9	31.8
69	29.2	29.3	29.3	30.3	30.2	29.1	30.2	30.7	30.1	29.4	29.7	29.3	30.3	30.5	30.1	30.4	30.4	30.3

70	28.8	28.9	28.7	28.9	28.7	28.7	28.1	28.2	28.3	28.7	29	29.1	29.6	29.3	29.4	29.3	29.2	29.3
71	28.5	28.9	28.3	28	28.2	28.2	28.1	28.2	28.3	28.7	29.1	29.3	29.6	29.3	29.4	29.3	29.3	29.3
72	27	27.4	27.3	27.6	27.1	27.1	27.8	27.4	27.4	27.2	27.2	27.8	27.3	27	27.1	27.8	28	27.9
73	28.2	28.6	28.3	28.1	28.2	28.2	28.3	28.3	28.3	29.1	28.8	29	29.2	29.1	29.4	29.3	29.1	29.3

Días	Temperatura Superficial (°C)																	
	Tratamientos																	
	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6
1	48.8	50.4	47.8	62.8	76.1	56.1	56.3	59.2	55.1	50.6	52.3	49	69.9	73.1	67.3	55.3	57.2	53.2
2	56.6	57.1	52.7	63.2	70.7	69.2	67.9	65.4	67.1	53.3	56.1	51.9	62.8	73.4	67.4	61.1	65.4	58.1
3	51.7	57.3	47.7	49.1	58.6	52.9	60.7	62.3	57.9	51.3	58.5	48.3	51.1	60.7	52.5	57.3	66.5	57.7
4	42	49.8	40	43.1	48.1	44.6	46.4	49.4	44.8	43.7	58.8	42.2	45.2	49.9	47.9	48.8	52.3	49.7
5	45.9	47.7	46.8	47.6	50.2	48.6	46.1	47.4	47	47.8	49.9	48.1	47.7	51.3	49.5	48.2	48.7	48
6	47.2	48.7	48.4	49.3	51.1	50.9	49.7	50.3	49.8	50.6	53.7	51.7	50.4	52.3	51.9	52.2	52.7	51
7	45.9	48.8	45.6	47.8	49.6	48.1	48.2	50.5	48.9	47.8	51.8	48.4	51.2	55.3	51.1	50.1	51.9	49
8	41.7	43.7	41.8	43.1	43.8	43.1	43.2	44.4	44.1	43.8	46.1	43.7	45.2	46.2	44.8	44.6	45.8	44.7
9	49.1	51.3	50.7	51.2	51.4	51.3	52.8	53.2	52.6	41.5	42.3	42	42.3	42.2	42	41.9	42.2	41.8
10	35	39	35	34	36	35	35	36	35	34	35	34	33	33	34	33	32	33
11	28.4	30	29.1	29.4	30.6	30	29.8	31	30.7	29.1	29.7	28.6	30.8	32.1	30.4	30.3	31.7	30.8
12	29.5	30.1	29.7	30.3	31.2	30.6	31.1	32.1	31.2	30.1	29.9	29.9	30.3	31.2	30.4	30.6	30.8	30.4
13	30.4	31.1	30.8	30.8	31.2	31.4	31.8	32.8	32.3	30.8	30.8	30.9	31.1	31.4	30.9	31.3	31.8	31.3
14	33.3	33.2	33.2	33.9	34.7	34.6	35.1	36	36	33.8	34.3	34.2	34.7	35.6	34.9	35.1	35.9	35
15	28.3	29	28.6	29.2	30	29.6	29.8	30.8	30	29.1	29.7	28.7	29.3	30.4	29.6	29.5	30.6	29.9
16	30.8	31.2	32	31.9	32.9	32.9	32.1	33.9	34.2	31.9	32.3	32.2	32.3	33.1	32.2	32.8	33.1	32.6
17	28.9	29.4	29.3	30.2	30.4	30.8	31.4	32	32.2	30.2	30.6	30.3	30.6	31	30.6	30.4	31.3	30.6
18	30.6	30.9	31.2	31.6	32.3	33	32.8	33.8	33.4	31.7	32.2	31.2	31.8	33.3	32.1	32.6	33.1	32.8
19	30.3	30	30.3	31.3	31.4	31.3	31.8	32.3	32.8	31.3	31.4	31.5	32.1	32.4	32	32.4	32.6	32.2
20	30	29.9	30.2	31.7	31.3	31.7	32.2	32.3	32.2	30.7	31.2	30.9	31.9	31.5	31.8	32.4	32.9	32.4
21	28.8	28.7	28.9	30.6	30.6	30.9	31.1	31.2	31.3	29.2	30.1	30.2	30.7	30.8	30.5	31.2	31.6	31.3
22	26.8	26.9	26.9	27.9	28.1	28	28.2	28.6	28.4	27.7	28	27.9	28.3	28.7	28.2	28.5	29.1	28.4
23	31	30.9	30.2	31.5	32.4	32.2	33.3	33.1	33.2	30.6	30.6	31.9	31.9	31.6	32.1	31.9	31.6	33.1
24	28.3	28.4	28.3	29.8	30.2	30.5	30.8	31.1	31	29.2	29.5	30.1	30.6	30.8	30.4	31.1	31.3	32.4
25	30.6	31.8	31.8	31	32.9	32.2	32	33.1	31.8	31.4	31.3	30.5	31.4	33.1	31.1	31.7	32.6	31.4
26	32.2	32.3	32.6	34.8	34.6	35.8	36.2	35.6	36.4	33.1	34.1	35.2	35.1	34.8	35.1	35.9	35.8	35.8
27	33	32.1	32.3	34.6	34.8	35.1	35.2	35.1	35.6	31.8	32.7	33.7	34.3	34.1	34.5	35.1	35.3	34.8
28	29.8	29.4	29.4	31.4	31.2	35.7	32.2	32.2	32.6	28.4	30.1	31.6	32	31.6	32.2	32.6	32.7	32.2
29	30.1	30.6	30.5	33.1	33	33.4	33.7	33.3	33.4	30.7	31.2	32.3	33.8	34.2	34.1	34.4	34.4	34.3
30	30	30.5	29.9	31.4	31.9	31.9	32.1	32.7	32.2	29.6	30.6	30.4	32	32.6	32.2	32.4	33.1	32.2
31	32.8	33	32.9	34.6	34.3	34.7	35.4	35.3	35.4	32	33.4	33.7	35.3	34.7	35.1	36.2	36.2	36.2
32	29.3	29.4	29.3	30.7	30.7	31	31.1	31.5	31.2	29.3	29.7	29.7	31	31	30.9	31.2	31.5	31.4
33	31.6	31.9	31.2	33.9	33.7	33.6	33.9	34.3	34.3	32	32.1	31.8	33.2	33.7	33.3	33.3	34.3	33.8

34	32.3	32.2	32.3	33.9	33.6	34.3	35.3	35.1	35.3	32.5	33	32.6	34.2	34.2	34.2	35.3	35.1	35.2
35	29.1	28.4	28.3	30.4	30.1	31.2	31.8	31.5	30.9	28.3	28.7	27.9	30.1	29.5	31.3	30.2	30.3	31.2
36	28.5	28	28.2	30.1	30.1	29.6	30.8	30.8	31.1	28	29	29.2	30.1	29.4	30	30.3	30.1	30.5
37	28.5	28	28.2	30.1	30.1	29.6	30.8	30.8	31.1	28	29	29.2	30.1	29.4	30	30.3	30.1	30.5
38	27.4	27.5	27.4	28.2	28.2	28.4	28.9	28.9	29.1	27.7	27.5	28.2	28.4	28.4	28.6	28.7	28.9	28.9
39	29.1	29.6	29.3	30	30	30.1	30.4	30.8	31	28.7	29.6	29.1	30.5	30.5	30.5	31	31.1	31
40	33	32.2	32.4	33.5	33.6	33.8	34.1	34.3	34	32.4	32.4	32.4	33.7	33.7	33.7	33.4	34.1	34.3
41	31.8	32.3	31.8	32.5	32.4	32.6	33.7	33.5	34.1	31.5	31.8	32.7	33.4	33.1	33.3	33.7	34.1	34.4
42	28.5	29.3	27.3	30.2	30.8	30.2	31.2	31.7	31	29.8	29.9	29.7	30.8	31.1	30.4	30.9	31.1	31.1
43	28.4	28.6	28.8	30.1	29.3	29.3	30.4	30.1	30.8	28.4	29.4	29.1	30.2	30.1	30.7	31.1	31.1	31.1
44	30.2	30.3	29.9	31.4	31.2	31.4	31.8	31.8	32.2	30.6	31.8	31.7	31.6	31.9	31.2	32.1	32.4	32.6
45	28.1	28.2	28.1	28.2	28.4	28.4	28.7	29	28.8	28.2	28.4	28.4	28.4	28.6	28.7	28.9	29.1	29.1
46	31.7	31.9	31.6	32	32.2	32.2	32.4	32.7	32.2	31.5	32	31.6	32.2	32.2	31.9	31.9	32	32
47	30.2	31.2	30.4	31.4	31.5	31.8	32.2	32.3	32.1	29.8	30.2	30.6	30.2	30.3	30.8	31.3	31.6	31.5
48	32.6	33.9	34.1	33.1	33.6	33.8	33.3	33.9	33.8	33.1	33.8	33.3	32.8	33.2	33.5	32.3	33	32.2
49	30.6	31.6	30.8	31.3	31.3	31.4	32	32.1	32.2	30.1	31.2	30.6	30.6	30.4	30.8	31.2	31.4	31.2
50	29.1	29.1	29	29.9	29.6	29.9	30	29.5	30.1	28.5	28.9	28.9	29.4	28.8	29.6	29.2	29.3	29.1
51	29.3	29.3	29.2	29.6	29.4	29.8	30.1	29.6	30.1	28.3	29.1	29.2	29.3	29.1	29.5	29.2	29.4	30.1
52	27.8	28	28.2	28.1	28.4	28.2	28.5	28.9	28.7	28.2	28.4	28.4	28.4	28.6	28.7	28.9	29.1	29.1
53	28.8	28.8	29.4	29.3	29.6	29.7	29.9	30.2	30.5	29.3	29.8	29.7	28.6	28.6	29.2	30.2	30.1	29.8
54	30.8	31.4	31.2	32.2	32.1	32	32	32.1	32	30.7	31.1	30.1	31.3	31.2	31.5	32.4	32.7	32.3
55	29.1	29.5	29.1	29.7	29.9	29.8	29.9	30.1	30	29.3	29.4	29.1	29.2	29.8	29.6	30.3	30.6	30.1
56	29.4	30.3	29.8	30.2	30.4	30.6	30.6	30.9	30.9	28.9	28.9	29.2	30.3	30.1	30.5	30.6	30.9	30.8
57	29.4	29.7	29.3	30	30.3	30.3	31	31.1	31.3	30.1	30.2	30.1	30.8	30.9	30.4	31.8	32.2	31.9
58	29.6	30.7	29.6	30.8	31.2	30.8	31.1	31.6	31.3	30.2	30.3	29.7	31.1	30.9	30.9	30.9	31.4	30.8
59	30.1	29.3	30.1	29.6	29.5	29.8	30.5	30.9	30.7	29.8	29.8	29.9	29.4	29.8	29.6	30.3	30.5	30.5
60	27.8	28.2	27.9	28.1	28	28.2	28.5	28.8	28.7	28.7	28.8	28.4	28.7	28.8	28.6	29.1	29.1	29.2
61	27.7	27.7	27.7	28	28.2	28.2	28.1	28.2	28.3	28.7	29.1	29.3	29.6	29.3	29.4	29.3	29.3	29.3
62	30.8	31.2	30.9	31.4	31.3	30.8	31.5	31.2	30.7	29.8	30.2	30.8	29.7	29.9	30.2	30.8	31.3	31.8
63	33.4	33.7	33.5	33.3	33.4	33.2	34	34.1	34.1	32.6	32.7	32.5	32.1	31.9	32.1	33.5	33.7	33.7
64	29.2	29.5	29.3	29.1	29.1	29.1	29.3	29.5	29.4	29.3	29.4	29	29	29.2	28.9	29.2	29.6	29.3
65	29.5	29.4	29.3	29.8	30.2	29.95	29.8	30	30.05	29.55	29.8	29.9	29.35	29.55	29.55	30	30.2	30.4
66	28.9	28.8	29.1	29.5	29.8	29.95	29.7	30.1	30.05	29	28.8	29.1	29.4	29.6	29.55	29.9	30.1	30.1
67	30.4	30.7	29.8	30.3	30.4	30	30.6	30.8	30.6	30.3	30.4	30.2	30.6	30.6	30.7	30.5	30.8	30.4
68	30.2	30.5	30.1	32.3	32.6	32.8	32.8	32.9	32.9	30.8	30.9	31.1	32.6	32.8	32.8	32.9	33.1	32.9
69	30.1	30.4	30.3	31.5	31.8	31.9	32.4	32.7	32.3	30.3	30.5	30.4	32.5	32.6	32.5	32.4	32.2	32.2
70	29.8	29.5	29.6	30.1	30.2	29.95	29.9	30	30.05	29.6	29.7	29.6	29.9	30	30.1	30.3	30.3	30.4
71	29.5	29.4	29.3	29.8	30.2	29.95	29.8	30	30.05	29.55	29.8	29.9	29.35	29.55	29.55	30	30.2	30.4
72	29.3	29.4	29.4	29.9	29.9	29.7	30	30.1	30	29.7	29.9	29.7	30	30.1	30.1	30.2	30.5	30.3
73	29.5	29.6	29.5	29.9	30.2	30.2	30	30	30.05	29.7	29.8	29.6	29.7	29.55	30.1	30.2	30.2	30.3

2. Registro Fotográfico



Imagen 1. Proceso de descomposición tratamiento 2 etapa de estabilización.



Imagen 2. Montaje de composteras.



Imagen 3. Instalación final de las composteras.